

LAMK Lahden ammattikorkeakoulu
Lahti University of Applied Sciences

Biomateriaalien saatavuus- ja soveltuvuusselvitys maatilamittakaavan biokaasulaitokselle

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristötekniikka
Ympäristönsuojelutekniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2016
Henna Ikäläinen

Uusiutuvan energian käytön lisääminen on tärkeää ja ajankohtaista. Biokaasun hyödyntäminen Suomessa on kasvanut viime vuosikymmeninä muun muassa tietoisuuden lisääntymisen sekä lakiasetusten takia. Maatilakohtaisten biokaasulaitosten rakentaminen on myös yleistymässä maatalouksien sivuvirtojen muodostumisen ja niiden hyödyntämisen mahdollisuuden vuoksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa mahdollisia ravinnelähteitä sekä selvittää niiden soveltuvuutta maatilamittakaavan biokaasulaitokselle. Selvitystyö tehtiin sysmäläiselle Mattilan maatilalle, joka käyttää tätä selvitystyötä pohjana biokaasulaitoksen suunnittelussa ja kannattavuuden selvittämisessä. Selvitystyön tarkoituksena oli mahdollistaa maatilán kannattava liiketoiminta sekä maatalouden orgaaniset lannoitteet.

Materiaalivirtojen kartoitus suoritettiin maatilán lähialueen yritysten selvittämisellä noin 50 kilometrin säteellä sekä haastatteluilla. Kartoituksen yritykset valittiin sijainnin ja muodostuvien sivuvirtojen ja materiaalien perusteella. Haastateltavat yritykset, joilta muodostuu biologisesti hajoavaa materiaalia, olivat pääsiasianssa ravintola-, kahvila- tai leipomoalan yrityksiä. Haastattelujen tulokset taulukoitiin ja niitä analysoitiin ja verrattiin kirjallisuuteen. Biokaasusta kirjoitettu teoria on peräisin eri kirjallisuuslähteistä.

Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen syötteiden valinnassa vaikuttavat vaaditut esikäsittelymenetelmät: kallis esikäsittely ei ole kannattavaa laitoksen toiminnalle. Maatalouden lietteen ja kalajätteen käsittely maatilán biokaasulaitoksella on kannattavaa, koska ne eivät vaadi kalliita esikäsittelymenetelmiä. Esikäsittelyn lisäksi syötteiden valintaan vaikuttavat materiaalivirran etäisyys maatilasta ja niiden määrät. Pieniä määriä ei ole kannattavaa hakea kaukaa, ellei samalla kerätä muitakin ravinnelähteitä. Biokaasuprosessi on myös riippuvainen materiaalien tuotannon tasaisuudesta, koska biokaasuprosessiin tarvitsee yleensä syöttää tasaisin väliajoin materiaalia.

Asiasanat: biokaasu, anaerobinen hajoaminen, materiaalivirrat

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

IKÄLÄINEN, HENNA: Availability and suitability of
biomaterials for farm-scale biogas
plant

Bachelor's Thesis in Environmental Technology, 45 pages, 1 page of
appendices

Autumn 2016

ABSTRACT

It is important to increase the use of renewable energy. The utilization of biogas in Finland has grown in recent decades, inter alia because of an increase in awareness and because of legal regulations. The construction of farm-scale biogas plants is also becoming more common due to the formation of side streams from the agricultural sector and the possibility of their exploitation.

The aim of this study was to identify potential nutrient sources, as well as to determine their suitability for a farm-scale biogas plant. The study was made for the Mattila farm in Sysmä and they will use this as a basis analysis for designing a biogas plant and in assessing its suitability. The objective of this study was also to ensure the farm's profitable business and agricultural organic fertilizers.

A survey of material flows was performed by investigating the companies nearby farm within a 50 kilometer radius and interviews. The companies of the survey were selected based on the location and the formation of side streams and materials. The interviewed companies, which create biodegradable material, were mainly restaurant, café or bakery sector companies. The results of the interviews were tabulated and analyzed and compared to the literature. A written biogas theory is based on different literature sources.

The required pre-treatment methods affect the selection of farm-specific biogas plant materials: expensive pre-treatment is not profitable for a plant's operation. It is profitable to process agricultural sludge and fish waste in a farm-scale biogas plant, because they do not require expensive pre-treatment methods. The distance from the farm and materials' quantities affect to the selection of materials along with pre-treatment. It is not profitable to seek small amounts of biomass from far away, unless at the same time other nutrient sources are collected. The biogas process is also dependent on the materials' continuous production, because the biogas process usually needs material at regular intervals.

Key words: biogas, anaerobic degradation, material flows

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	ANAEROBINEN BIOKAASUN TUOTANTO	3
2.1	Anaerobiseen hajotukseen vaikuttavat tekijät	4
2.2	Materiaalit	7
2.3	Tekniikka	12
2.4	Lainsäädäntö	15
2.4.1	Materiaalit	16
2.4.2	Lannoitteet	17
2.5	Lopputuotteet	18
3	BIOKAASUN TUOTANTO MAATILAMITTAKAAVASSA	21
3.1	Sivuvirrat ja niiden hyödyntäminen	21
3.2	Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät	24
4	MATERIAALIT JA METODIT	26
4.1	Työn toteutus	26
4.2	Mattilan maatala	29
5	KARTOITUKSEN TULOKSET	30
6	TARKASTELU	33
6.1	Materiaalit	33
6.2	Syöteseokset	35
6.3	Kustannus	38
7	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	46

1 JOHDANTO

Uusiutuvat energialähteet ja kestävät toimintaperiaatteet, mukaan lukien energiatehokkuuden ja energian säilyttämisen edistäminen, tuovat huomattavia pitkäaikaisia hyötyjä eri tahoille. Ne tarjoavat pääsyn puhtaaseen ja kotimaisesti saatavaan energiaan ja johtavat vähentyneeseen fossiilisten polttoaineiden tuonnin riippuvaisuuteen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähenemiseen. Energia-alalla fossiiliset polttoaineet voidaan korvata uusiutuvilla energialähteillä. (Dahlquist 2013, 7.) Uusiutuvan energian käyttö luo myös uusia työpaikkoja, tukee talouskasvua sekä parantaa kilpailukykyä ja maaseudun kehityksen edellytyksiä (European Commission 2015). Uusiutuvaa energiaa pyritään lisäämään ihmisten kannustamisella, lakiasetuksin ja tavoitteilla. Suomella on tavoitteena lisätä päästöttömän uusiutuvan energian käytön osuutta yli 50 prosenttiin 2020-luvulla. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 19.) Vuonna 2013 uusiutuvan energian osuus oli noin 31 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta (Motiva 2016).

Biokaasu on uusiutuvaa energiaa, ja sen tuotannolla on paljon positiivisia vaikutuksia ja potentiaalia Suomessa. Biokaasuteknologia mahdollistaa ravinnekierrätyksen, tuottaa uusiutuvaa energiaa ja edistää resurssitehokkuutta (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 7). Biokaasu on monipuolinen energiamuoto, ja sitä voidaan käyttää moneen eri käyttötarkoitukseen, kuten sähkön- ja lämmöntuotantoon tai sitä voidaan jalostaa liikennepolttoaineeksi soveltuvaksi biometaaniksi (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 17). Maatilakohtaisten biokaasulaitosten rakentaminen on yleistynyt huomattavasti, ja tällä hetkellä Suomessa on kymmenkunta maatalouden biokaasulaitosta, jotka käsittelevät pääosin maatalouden lietteitä ja peltobiomassoja (Biokaasuyhdistys 2016).

Biokaasun tuotannossa voidaan käyttää kaikkea orgaanista ainesta, mutta mädätys sopii parhaiten helposti hajoaville materiaaleille. Maataloudessa yleisimmät syötteen ovat lanta ja rehu, kuten ruohokasvit ja juurekset. Syötteen koostumus vaikuttaa paljon biokaasun tuotantoon ja biokaasupotentiaali lasketaan yleensä materiaalin kuiva-ainepitoisuuden

mukaan. (Motiva 2013.) Kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa myös käytettävään laitoksen tekniikkaan.

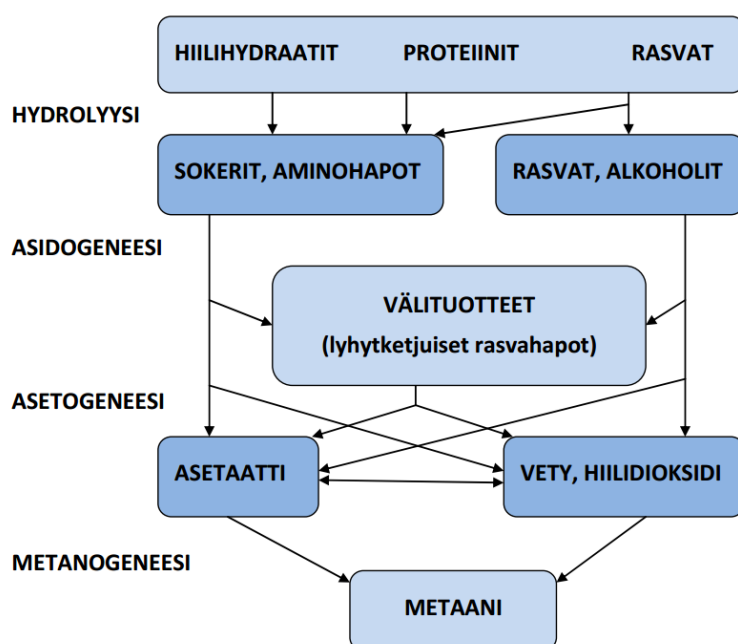
Tämän selvitystyön tarkoituksena on antaa pohja kannattavalle liiketoiminnalle biokaasualalla sekä mahdollistaa maatalouden orgaaniset lannoitteet. Työ tehdään sysmäläiselle Mattilan maatilalle, jonka aikomuksena on rakentaa biokaasulaitos maatilalleen. Selvitystyössä kartoitetaan lähialueen potentiaaliset yritykset, joilta muodostuu biologisesti hajoavaa materiaalia. Tavoitteena on selvittää, mitä ravinnelähteitä lähialueella on saatavilla biokaasutuotannon syötteiksi, sekä selvittää niiden soveltuutta biokaasuprosessiin. Tätä selvitystyötä käytetään taustatyönä Mattilan maatilalla biokaasulaitoksen suunnittelussa ja kannattavuuden arvioinnissa.

Selvitys toteutettiin yritysten kartoittamisella sekä haastatteluilla ja yhteydenotoilla. Saadut tulokset taulukoitiin ja niitä verrattiin kirjallisuuteen sekä Mattilan maatilalla määrittelemiin puitteisiin. Saaduista tuloksista tehdään johtopäätökset materiaalien soveltuvuudesta biokaasuprosessiin. Materiaaleista ei tehdä spesifisiä metaanintuottopotentiaalikokeita, eikä eri jakeista koostuvan sivutuotevirran suhteelliset osuudet ole tiedossa. Tästä syystä kirjallisuudesta annetaan riittävä vaihteluväli, minimi- ja maksimiarvot, tämän huomioimiseksi.

2 ANAEROBINEN BIOKAASUN TUOTANTO

Biokaasu tai kaatopaikkakaasu on tuotettu orgaanista ainesta anaerobisesti hajottamalla, eli mädättämällä. Biokaasua voi myös tuottaa pyrolyysi- ja kaasutusprosessien kautta. (Dahlquist 2013, 26.)

Hajoamisketjun neljässä eri vaiheessa (kuvio 1) toimivat toisistaan riippuvaiset mikrobit (Luostarinen 2013).



KUVIO 1. Eloperäisen materiaalin hajoaminen biokaasuprosessissa (Luostarinen 2013)

Ensimmäisessä vaiheessa, hydrolyysissä, hydrolyyttiset entsyymit pilkkovat orgaanisen aineksen hiilihydraatteja, rasvoja ja proteiineja pienemmiksi osasiksi. Hydrolyysiä pyritään tehostamaan esikäsittelymenetelmillä, kuten jauhamalla tai pilkkomalla syöttömateriaaleja pienemmiksi ennen biokaasuprosessiin syöttämistä. Lopputuotteina syntyy yksinkertaiset sokerit, aminohapot, glyseroli ja alkoholit. Seuraavassa hajoamisketjun vaiheessa, eli asidogeneesissä, haponmuodostajamikrobit ottavat hydrolyysin lopputuotteet sisälleen ja jatkavat niiden pilkkomista

oman kasvunsa ja metaboliensa ravinnonlähteenä. Asidogeneesin lopputuotteina muodostuu lyhytketjuisia, haihtuvia rasvahappoja, kuten voi-happoa ja propionihappoa. Asetogeneesivaiheen aikana rasvahapot hajoavat asetaatiksi sekä vedyksi ja hiilidioksidiksi. Metanogeneesi-vaiheessa pääosa biokaasun metaanista muodostuu asetaatista ja loput vedystä ja hiilidioksidista. (Luostarinen 2013.)

Biokaasun hajoamisprosessissa syntyy metaania, jota on biokaasussa yleensä 50 – 70 prosenttia riippuen raaka-aineista ja tuotantoprosessista. Metaania voidaan hyödyntää lämpönä, sähköinä, sähkön- ja lämmönyhteistuotannossa, liikennepolttoaineena tai syöttämällä maakaasuverkkoon. Biokaasu sisältää myös hiilidioksidia, jota on noin 30 – 50 prosenttia. Hiilidioksidia voidaan hyödyntää esimerkiksi kasvihuoneissa. (Motiva 2015a.) Biokaasu saattaa lisäksi sisältää pieninä pitoisuuksina (alle yksi prosentti) vesihöyryä, typpeä, happea, vetyä, ammoniakkia ja rikkivetyä. Kaatopaikalla muodostuva biokaasu saattaa sisältää huomattavia määriä typpeä ja happea hallittuihin biokaasuprosesseihin nähden. (Bioste 2014.)

Tasapainoisen biokaasun tuotannon edellytyksenä ovat sopivat reaktoriolosuhteet, joihin vaikuttaa suurelta osin syötekoostumus. Seostaminen on tärkeä osa syöteseoksen koostumuksen ja laadun kannalta. Sopivalla seostamisella voidaan saavuttaa optimaalinen hajoaminen ja biokaasutuotto. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 44.) Sekoituksen tavoite on varmistaa hyvä kontakti syötteiden ja mikrobien välille sekä pitää reaktorissa oleva massa tasalaatuisena ja tietyssä lämpötilassa (Luostarinen 2013). Syötemateriaalit ja niistä muodostuva seos ja sen ominaisuudet on huomioitava alkuvaiheessa biokaasuprosessia perustettaessa, koska ne vaikuttavat prosessin tekniikan valintaan ja kannattavuuteen.

2.1 Anaerobiseen hajotukseen vaikuttavat tekijät

Anaerobista hajoamisprosessia voi häiritä monet eri tekijät prosessin sisällä tai sen ulkopuolella, ja siksi se vaatii tietyt olosuhteet.

Mädätysprosessi tapahtuu hapettomissa olosuhteissa, joten happi on prosessin mikrobistolle toksista. Merkittävät määrät antibiootteja tai desinfiointiaineita häiritsevät myös mikrobitoimintaa. Liian ihanteellisissa olosuhteissa oleva mikrobiryhmä pääsee puolestaan tuottamaan omaa lopputuotettaan niin paljon, että se alkaa häiritä muita hajoamisketjun mikrobeja. Tällöin koko prosessi häiriintyy ja siksi onkin hyvä ymmärtää biokaasuprosessin mikrobiologiaa tulkitakseen laitoksen toimintaa oikein. (Luostarinen 2013.) Muun muassa materiaali, lämpötila, pH, ravinteet, hivenaineet sekä toksiset aineet vaikuttavat hajoamisprosessin toimintaolosuhteisiin (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 63).

Yksi merkittävimmistä biokaasutuotantoon vaikuttavista tekijöistä on lämpötila, jonka tasaisuuden säilyttäminen on tärkeää prosessin kannalta. Mikrobit sopeutuvat spesifiseen lämpötilaan, ja lämpötilamuutokset heikentävät niiden toimintaa. Lämpötilavaihtelun olisi hyvä olla korkeintaan pari astetta. Anaerobinen hajoamisprosessi tarvitsee useimmiten ulkoisen lämmönlähteen esimerkiksi syötteen esilämmityksen tai reaktori-lämmityksen. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 64.) Prosessit jaetaan lämpötilan ja siihen sopeutuneiden mikrobien perusteella kolmeen eri luokkaan (katso kohta 2.3).

Metaania tuottavat mikrobit toimivat pH:n ollessa 6:n ja 8:n välillä, joka siten on biokaasuprosessin kannalta ihanteellinen pH arvo (Luostarinen 2013). Syötteet, joissa on paljon hiilihydraatteja, vaikuttavat pH:ta alentavasti ja vastaavasti proteiinipitoiset syötteet vaikuttavat pH:ta nostavasti. Hiilihydraattipitoisten syötteiden hajotessa syntyy happoja ja proteiinipitoiset syötteet tuottavat ammoniakkia. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 65.)

Ravinteet ja hivenaineet ovat tärkeitä muun muassa solujen rakennusaineina ja entsyymitoiminnassa. Hivenaineiden biosaatavuuden voi varmistaa kokeellisesti testaamalla hivenainelisäyksen vaikutusta prosessin toimintaan. Yksipuolisia syötteitä käsittelevät biokaasuprosessit kärsivät hivenainepuutteesta yleisemmin kuin useita erilaisia jakeita käsittelevät prosessit. Prosessin maksimaalisen tehon ja stabiilisuuden

saavuttaa hivenainelisäyksellä prosessin ollessa hivenainerajoitteinen. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 66 - 67.)

Inhiboivia ja toksisia aineita tulee biokaasuprosessiin syötteiden mukana tai niiden hajoamisen seurauksena. Näille aineille on hankalaa määrittää tarkkoja raja-arvopitoisuuksia, mikä johtuu esimerkiksi inhiboivien metallien saostumisesta heikkoliukoisina suoloina. Toksisten aineiden haitallisuus riippuu myös muun muassa lämpötilasta, pH:sta ja reaktorisäädön koostumuksesta. Anaerobisen hajoamisen omat välituotteet, kuten ammoniakki, rikkivety ja rasvahapot, ovat yleisimmin seurattavia inhiboivia aineita. Inhiboituminen prosessin omista välituotteista johtuu epätasapainosta, jonka vääränlainen syöte tai muutos prosessin toiminnassa on voinut aiheuttaa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 67.)

Kosteus vaikuttaa olennaisesti mädätysprosessiin, sillä bakteeritoiminta ja varsinkin anaerobiset olosuhteet ovat siitä riippuvaisia. Veden määrän vaihtelu eri jätelajien välillä on huomattavaa, ja se vaihtelee biojätteen mukaan. Prosessin kosteuspitoisuutta voidaan parantaa kuivien biojätteiden osalta pilkkomisella sekä kemiallisilla ja biologisilla esikäsittelymenetelmillä. Biojätteiden yhteiskäsittelyllä voidaan myös vaikuttaa kosteuspitoisuuteen. (AMK 2016.) Liian suuri kuiva-ainepitoisuus märkämädätyslaitoksissa vaikuttaa kaasuntuotantoon siten, että pieneliöiden elintoiminnot vaikeutuvat liian kuivassa ympäristössä. Lisäksi alhainen vesipitoisuus saattaa aiheuttaa prosessia haittaavien aineiden pitoisuuden nousemisen korkeaksi. (Motiva 2013.) Syötteiden kosteuspitoisuus vaikuttaa myös valittavaan biokaasulaitoksen tekniikkaan. Lietemäiset syötteen (TS korkeintaan noin 15 %), joilla on korkea kosteuspitoisuus, soveltuvat märkäprosesseihin ja alhaisen kosteuspitoisuuden omaavia syötteitä (TS noin 20 - 40 %) käytetään kuivaprosesseissa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 82.)

Biokaasuprosessissa voi myös ilmetä ongelmia, jos syöttömateriaalissa on korkea typpipitoisuus. Typpi-inhibitio näkyy biokaasuprosessissa alentuneena biokaasun ja metaanin tuottona. Nostamalla hiljalleen

syöttömateriaalien typpipitoisuutta voidaan siedättää mikrobeja kestämaan korkeampia typpipitoisuuksia. Eri laitosten mikrobipopulaatioilla on kuitenkin omat rajansa, mikä estää typpitoisuuden nostamista loputtomiin. Anaerobiseen hajotusprosessiin vaikuttavat myös liian korkea orgaaninen kuormitus sekä vedyn kertyminen biokaasuprosessiin. Metaania tuottavat mikrobit eivät välttämättä pysty hyödyntämään niille muodostuvaa ravintoa yhtä nopeasti, jos kuormitus on korkea ja ensimmäiset hajoamisen vaiheet etenevät liian nopeasti. Tällöin prosessin pH alenee ja erityisesti metaania tuottavien mikrobien toiminta häiriintyy alentaen biokaasun tuottoa. Vedyn kertyminen voi myös vaikuttaa haitallisesti prosessiin, jos sen osapaine ei pysy mahdollisimman alhaisena. (Luostarinen 2013.)

2.2 Materiaalit

Biokaasun tuotannossa käytetään orgaanista ainesta, joka on tyypillisesti suhteellisen helposti biohajoavaa. Ne voidaankin karkeasti jakaa kolmeen eri tyyppiin: hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat. Biokaasutuotantoon soveltuu hyvin raaka-aineeksi biomassan erilaisissa jalostusketjuissa syntyvät jätteet ja sivutuotteet. Periaatteessa kaikki biohajoava soveltuu biokaasun syötteeksi, lukuun ottamatta puuta, joka sisältää vaikeasti hajoavaa orgaanista ainesta. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 21.) Eläinten lanta sisältää useimpia mikrobien tarvitsemista ravinteista ja soveltuu siksi biokaasuprosessin perusmateriaaliksi. Biokaasulaitosten metaanintuottoa voidaan parantaa käsittelemällä reaktorissa lannan lisäksi erilaisia orgaanisia materiaaleja. Lisämateriaaleiksi soveltuu myös yhdyskuntien ja teollisuuden biojätteet, puhdistamolietteet sekä peltobiomassat. (Biokaasufoorumi 2016.)

Raaka-aineet valitaan niiden sopivuuden ja saatavuuden perusteella. Syötteiden arvioitavia ominaisuuksia biokaasun tuotantoon ovat muun muassa orgaanisen aineen määrä, metaanintuottopotentiaali, kuiva-ainepitoisuus, hiili/typpi-suhde, toksisuus sekä ravinne- ja hivenainekoostumus. Raaka-aineen sopivuuteen vaikuttavat myös mädätteen hyötykäytön vaatimukset. Hajoamattomat haitta-aineet (esim.

raskasmetallit) konsentroituvat mädätteeseen, kun osa muusta kuiva-aineesta muuttuu biokaasuksi. Syötevalinta vaikuttaa biokaasuprosessin toimivuuteen, energiatuottoon ja lopputuotteen laatuun. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 22 - 23.)

Käytetyn raaka-aineen koostumus vaikuttaa tuotetun kaasun määrään: jos siinä on vähän vettä ja paljon helposti pilkkoutuvaa orgaanista materiaalia, sitä enemmän se tuottaa kaasua. Kuiva-aineen orgaanisen osuuden hajotessa muodostuu biokaasua. Epäorgaaninen aines yhdessä hajoamattoman orgaanisen aineksen ja veden kanssa jää mädätysjäännökseen, mädätteeseen. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 23 - 24.)

Biokaasutuotantoon vaikuttaa syötteen kuiva-aineen ja orgaanisen aineksen suhde; mitä suurempi suhde on, sitä sopivampi syöte on tuotantoprosessiin. Orgaanisen aineksen helppo hajoavuus vaikuttaa myös myönteisesti kaasun tuotantoon. Oikea VS/TS-suhde on tärkeää vakaalle hajoamisprosessille. Ihanteellisessa tilanteessa laimennusvettä ei tarvita, jos syötteet muodostavat itsestään kuiva-ainepitoisuudeltaan sopivan seoksen. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 24.)

Taulukon 1 mukaan korkeimman metaanipitoisuuden biokaasuprosessissa tuottaa paljon rasvaa sisältävä aines. Rasvapitoinen syöte tuottaa myös korkeamman lämpöarvon kaasulle kuin paljon hiilihydraatteja sisältävä materiaali. Teurasjäte, ruoantähteet tai lietelanta aiheuttavat suuremman metaanipitoisuuden biokaasussa kuin esimerkiksi peltokasvit.

Kaasuntuotanto paranee, kun syötettä murskataan ja hienonnetaan.

Tällöin hajotusprosessissa toimivat pieneliöt saavuttavat aineen paremmin. (Motiva 2013.) Syötteen metaanituotto voidaan arvioida teoreettisesti laskemalla tai kokeellisen testin avulla. Teoreettinen menetelmä voi johtaa ylioptimistiseen tuottoarvoon, joka pohjautuu niin sanottuun Buswellin yhtälöön. Yhtälön mukaisesti orgaanisen aineen metaanituotto voidaan laskea stokiometrisen yhtälön mukaan. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 27.)

TAULUKKO 1. Hiilihydraattien, rasvojen ja proteiinien teoreettiset biokaasu- ja metaanituotot (Luostarinen, Normak & Edström 2011)

Substraatti	Biokaasu (m ³ /t)	Metaani (m ³ /t)	Metaanipit. (%)
Hiilihydraatit	830	415	50,0
Rasvat	1444	1014	70,2
Proteiinit	793	504	63,6

Syöttömateriaalit, joilla on korkea typpipitoisuus, voivat aiheuttaa haasteita biokaasuprosessissa. Ammoniumtyyppiä muodostuu proteiinien hajotessa, mikä on prosessin kannalta suotuisa asia. Ammoniumtyppi alentaa pH:ta, ja lisäksi se lisää käsittelyjäännöksen arvoa kasvinravinteena. Korkeina pitoisuuksina ammoniumtyppi voi kuitenkin häiritä mikrobitoimintaa ja inhiboida prosessia. (Luostarinen 2013.)

Hiilen ja typen suhde materiaalissa on oltava sopiva, jotta biokaasun tuotantopotentiaali saadaan hyödynnettyä täysin. Liika typpi syötteessä aiheuttaa riskin ammoniakkin muodostumiselle, jolloin koko biokaasun tuotantoketju saattaa estyä. Liiallinen hiilipitoisuus syötemateriaalissa aiheuttaa sen, että osa materiaalin biokaasun tuotantopotentiaalista jää hyödyntämättä. Biokaasulaitoksessa sopiva hiili/typpi-suhde syötteissä on noin 20:1, eli syötteiden tulisi sisältää 20 kertaa enemmän hiiltä kuin typeä. (Motiva 2013.)

Jätevedenpuhdistamoilla muodostuva liete soveltuu hyvin biokaasuprosessiin, sillä sitä muodostuu tasaisia määriä jatkuvasti. Puhdistamolietteen kuiva-ainepitoisuus (total solids, TS) on alhainen, eli se sisältää paljon vettä, joka ei hajoa prosessissa luonnollisesti ja tuota kaasua. Orgaaninen aines (volatile solids, VS) kuvaa syöttömateriaalin mahdollisesti biologisesti hajoavaa osuutta. Mitä matalampi VS, sitä vähemmän materiaalissa on mädätysprosessissa hajoavaa ainesta. (Luostarinen 2013.) Puhdistamolietteet soveltuvat hyvin biokaasutuotantoon niiden käsiteltävyyden sekä metaanituoton kannalta. Mädätysjäännöksen osalta tilanne on hankalampi, sillä laadun ja hyödynnettävyyden kannalla on ongelmia. Tulevaisuudessa tullaan

asettamaan uusia vaatimuksia Suomessa muun muassa orgaanisille haitta-aineille. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 43.)

Yleinen materiaali biokaasuprosesseille on myös kotieläintuotannon lanta, jota muodostuu melko tasaisesti, ja se on ravinteikasta. Lannan määrästä ja ominaisuuksista sekä biokaasulaitoksesta riippuen se voidaan syöttää yksistään prosessiin tai yhdessä muiden materiaalien kanssa. Lietelannan kuiva-ainepitoisuuden mataluuden takia metaanintuotto kohti prosessiin syötettyä tuoretonnia on melko alhainen. Kuivalannan metaanintuotto on korkeampi tuorepainoa kohti, koska siinä on vähemmän vettä. Taulukon 2 mukaan metaanintuotto on lähes sama kuiva- ja lietalannoilla lisättyä orgaanista ainetta kohti. (Luostarinen 2013.) Lanta sisältää kaikki tarvittavat ravinteet bakteerien toimintaa varten, ja sillä on korkea puskurointikapasiteetti. Tästä syystä se soveltuu hyvin perusmateriaaliksi biokaasulaitoksille. Toisaalta, tiettyjen siipikarjojen lannan tyypipitoisuus saattaa vaatia tiettyjen tekniikoiden käyttöä välttääkseen inhibition. (Luostarinen ym. 2011.)

TAULUKKO 2. Eri raaka-aineiden metaanintuottopotentiaaleja, kuiva-ainepitoisuudet sekä orgaanisen aineksen osuudet (Luostarinen 2009, 2011 ja 2013; Luste, Soininen & Seppäläinen 2013; Biokaasulaskuri 2014)

Raaka-aine	BMP (m ³ /tVS lisättyä)	TS (%)	VS (%)
Biojäte	270	28	26
Puhdistamoliete	220-430	4,5-5,6	3,0-3,5
Teurasjäte	200-910	20-31	18-28
Naudan lietalanta	120-300	5-14	4-12
Naudan kuivalanta	126-250	17-25	12-21
Sian lietalanta	180-490	4-10	3-8,5
Sian kuivalanta	162-270	20-34	15-28
Kanan kuivalanta	150-300	32-65	20-52
Säilörehu	213-360	20-40	18-36
Rasvajäte	800	40	36
Nurmi/nurmirehu	310-410	5,4	4,1
Ruokohelpi (tuorekorjattu)	253-351	20-40	18-36
Apila	280-300	35	
Vihannesjäte	250	3,2-3,8	3,0-3,2
Leipomojäte	490	53	50
Maa-artistokka	120	48	40
Maitotuote	100	12	11
Hillojäte	290	37	35
Hevosien lanta	220	6,9	6,8
Kalajäte	370	26	23
Lietelanta	150-200	7	5,8
Glyseroli	650-1500	95	75

Lietelantaa sekoitetaan ennen pumppausta prosessiin tasalaatuisuuden varmistamiseksi. Kuivien lantojen kuivikkeen täytyy olla teknisesti käyttökelpoista, eli soveltua laitoksen laitteisiin. Pitkäkortinen olki saattaa esimerkiksi aiheuttaa ongelmia prosessissa muun muassa liikkumattomuudella prosessissa tai se voi kietoutua sekoitinten lapoihin. Oljen tai kuivalannan silppuaminen onkin tästä syystä usein välttämätöntä toimien eräänlaisena esikäsittelymenetelmänä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 48.)

Erilliskeräysten yhteydessä muodostuu biojätettä, joka sisältää yleensä paljon energiaa ja jonka metaanintuotto on korkea. Biojätettä on käsiteltävä ennen prosessia, koska se sisältää usein epäpuhtauksia, kuten muovia, lasia tai metallia. Tästä syystä biojäte soveltuu parhaiten isommille laitoksille esikäsittelyn työläyden ja investointien takia. (Luostarinen 2013.) Erilliskerätyn biojätteen sisältämät epäpuhtaudet, kuten muovi, styroksi, metalli ja kivet, pitää poistaa mahdollisimman hyvin ennen jätteen syöttöä reaktoriin. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 51.)

Teollisuuden eloperäisten jätteiden ja sivutuotteiden soveltuvuus biokaasuprosessin materiaaleiksi vaihtelee huomattavasti. Usein ne ovat melko helposti hajoavia ja energiapotentiaalisia, mikä saattaa tosin aiheuttaa haasteita prosessin kuormituksen nousussa liian korkeaksi mikrobitoiminnalle. Teollisuuden tuotantoprosessissa voidaan käyttää biokaasuprosessille haitallisia kemikaaleja, jotka päätyvät sivutuotteeseen. (Luostarinen 2013.) Orgaanisen aineksen ominaisuudet voivat vaihdella keräystavan, keräyspaikan ja vuodenajan mukaan (Luostarinen ym. 2011).

Biokaasun tuotantoon tarkoitettun kasvibiomassan tulee olla melko helposti hajoavaa, kuten lehmien rehun (Luostarinen 2013). Kasvibiomassat tulisi kerätä silloin, kun ne ovat tuoreemmillaan, sillä korsiintunut kasvibiomassa tuottaa vähemmän biokaasua. Kasvit voidaan syöttää biokaasureaktoriin tuoreena tai säilömistä jälkeä. Vääränlainen varastointi saattaa heikentää kasvibiomassoja, mikä voi laskea niiden metaanintuottoa. (Luostarinen ym. 2011.)

Kasvibiomassojen hajoamista voidaan myös lisätä esikäsitteilyllä, kuten fysikaalisella silppuamisella tai murskaamisella, mikä pienentää kasvijätteen partikkelikokoa. Tällöin mikrobit pääsevät tehokkaasti hajottamaan raaka-ainetta. Esikäsitteilyllä pyritään samalla myös varmistamaan biokaasulaitoksen tekninen toimiminen sekä kasvibio-massan toivottu liikkuminen ja pysyminen reaktorin nestemassan sisällä. Esikäsitteily ehkäisee lisäksi kasvimassan kietoutumisen sekoittimiin. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 48.)

2.3 Tekniikka

Biokaasulaitoksessa on yleensä tietynlaiset prosessivaiheet laitoksen mittakaavasta riippumatta. Syötteet esikäsitellään ja esivarastoidaan, minkä jälkeen ne siirretään biokaasureaktoriin. Prosessista syntyvä mädätysjännös kootaan varastoon tai jälkikaasualtaaseen, mistä se kuljetetaan jatkokäyttöön tai varastoon. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 82.) Biokaasutuotannon eri menetelmät voidaan jaotella neljään eri osaan perustuen prosessin ominaisuuksiin. Biokaasuprosessit voidaan jaotella prosessin vaiheiden lukumäärän (yksi- tai kaksivaiheinen), lämpötilan (psykrofiilinen, mesofiilinen tai termofiilinen), syöttötavan (jatkuva- tai panostoiminen) tai syötteiden kuiva-ainepitoisuuden mukaan (märkä- tai kuivamädätys). (Dahlquist 2013, 302.)

Yksi- tai kaksivaiheinen prosessi

Yksivaiheisuus tarkoittaa sitä, että biokaasulaitoksessa on yksi biokaasu-reaktori, jossa pääosa raaka-aineiden hajoamisesta ja biokaasutuotosta tapahtuu. Jälkikaasualtaan voi laskea laitoksen toiseksi vaiheeksi tai olennaiseksi osaksi prosessia. Kaksivaiheisessa prosessissa on kyse erillisistä hydrolyysivaiheen sekä metaanituottovaiheen reaktoreista. Tavoitteena on optimoida hajoamisen eri vaiheet kahdella reaktorilla sarjassa ja hieman toisistaan poikkeavasti operoituna. Yksivaiheinen prosessi on yleisempi hallittavuuden ja kustannuksien takia. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 88 - 89.)

Lämpötila eli psykrofiilinen, mesofiilinen tai termofiilinen

Psykrofiilinen biokaasuprosessi tapahtuu alle 25 °C:n lämpötilassa, jolloin metaanin tuotto on hidasta ja kaasun muodostuminen melko vähäistä.

Psykrofiilinen prosessi on tavallista luonnossa soilla ja lietealtaissa ihmisten toiminnan seurauksesta. Mesofiilinen prosessi toimii 32 ja 42 °C:n välillä, joka on yleisin lämpötilaväli biokaasulaitoksille. Prosessi on tällöin helppo pitää vakaana ja biokaasunmuodostus on hyvä. Termofiilinen mädäntyminen tapahtuu 50 – 60 °C:ssa. Syötteen hajoaminen kestää vain puolesta kahteen kolmasosaan siitä ajasta kuin mesofiilisessä mädätyksessä. Termofiiliset prosessit ovat herkempiä häiriöille, ja prosessin energiankulutus on suurempi kuin mesofiilisissä prosesseissa. (Motiva 2013.)

Jatkuva- tai panostoiminen prosessi

Biokaasureaktorin jatkuvatoimisuus tarkoittaa säännöllistä syöttöä ja poistoa tietyin väliajoin sekä jatkuvaa ja mahdollisimman tasaista biokaasutuottoa. Jatkuvatoimiset märkäprosessit operoidaan usein jatkuvatoimisella täyssekoitusreaktorilla ja syötteet syötetään reaktoriin tietyn ajan välein samanaikaisesti poistaen mädätettä. Tehokas sekoittaminen takaa hyvän kontaktin syötteiden ja mikrobien välillä, reaktorin sisältö on homogeenista ja lämpötila säilyy tasaisena. (Luostarinen ym. 2011.)

Jatkuvatoiminen kuivaprozessi perustuu useimmiten tulppavirtaukseen. Syöttö tapahtuu sylinterimäisen ja vaakatasossa olevan reaktorin toisesta päästä. Massaa siirretään sylinterin sisällä ja mädätysjäännös puretaan toisesta päästä. Prosessin kuiva-ainepitoisuutta säädetään syöttöön lisättävällä kertaalleen prosessin läpimennyt mädätysjäännöstä mikrobiympiksi ja kierrättämällä prosessista suotautuvaa nestettä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 86.)

Panosprosessissa reaktori täytetään, suljetaan, ja syöte jätetään hajoamaan tietyksi ajaksi, minkä jälkeen reaktori tyhjenetään. Panosprosessit ovat käytössä kuivien materiaalien käsittelyssä.

(Kymäläinen & Pakarinen 2015, 83.) Panostoimisessa kuivaprosessissa ”autotallityyppinen” panosreaktori on yleisin reaktori. Se täytetään uuden syötteen ja käsittelyjäännöksen sekoituksella käyttämällä etukuormaa, minkä jälkeen reaktori suljetaan biokaasun tuoton ajaksi, vähintään 20 – 30 päiväksi. Tämän jälkeen reaktori avataan ja tyhjennetään, jolloin uusi erä voidaan mädättää. (Luostarinen ym. 2011.)

Märkä- tai kuivamädätys

Märkämädätys on yleisin biokaasun tuotantoprosesseista maatalousalalla (Dahlquist 2013, 304). Märkäprosessissa jatkuvatoiminen, täyssekoitteinen reaktori (CSTR) on yleisin. Märkämädätyksessä syötteen kuiva-ainepitoisuus on yleensä alle 15 %, jolloin syötteen voi pumpata reaktoriin ja sieltä pois. Alhainen kuiva-ainepitoisuus mahdollistaa myös reaktorimassan tehokkaan mekaanisen sekoittamisen. Prosessiin voidaan lisätä myös kuivia syötteitä erillisellä syöttölaitteella tai sekoittamalla kuiva materiaali lietemäisen joukkoon ennen syöttöä reaktoriin. Materiaalin kuiva-ainepitoisuuden on kuitenkin oltava alle 15 % sekoituksen ja poiston mahdollistamiseksi. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 83.) Märkäprosessia pidetään hyvänä ratkaisuna, koska kaasun tuotto ja raaka-aineen hajoaminen on tasaista (Bioste 2014). Lisäksi märkäprosessi toimii kaikissa mittakaavoissa (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 83). Hyvä ravinteen ja energian vaihto bakteerien ja substraattien välillä on mahdollista korkean nestepitoisuuden takia (Dahlquist 2013, 304 - 305).

Kuivamädätyksessä käytetään yleensä orgaanista jätettä tai uusiutuvia materiaaleja. Kuivamädätys voi olla jatkuva- tai panostoimista ja mädätteen kuiva-ainepitoisuus on yleensä 20 – 40 %. Kuivempaa syötettä on vaikea pumpata, joten kuivaprosessit sopivat laitoksille, joissa ei ole ylimääräistä nestemäistä lantaa syötteenä. (Dahlquist 2013, 302.) Kuivamädätyksessä on pienempi reaktorilavuus kohti tuorettonnia syötettä. Kuivaprosessissa on kuitenkin hankalampi tekniikka, minkä takia prosessi ei ole toistaiseksi yleistynyt. Haasteellisuutta tuo myös kuivien massojen sekoittaminen, mikä on haitaksi prosessiolosuhteille ja mikrobien ja käsiteltävän massan kontaktin varmistamiselle. Biokaasun

vapautuminen voi olla haastavampaa kuin märkämädätyksessä.
(Kymäläinen & Pakarinen 2015, 83.)

2.4 Lainsäädäntö

Evira suorittaa Suomessa vaatimusten asettamisen hyväksyttävillä käsittelylaitoksille ja -prosesseille sekä myös valvonnan ja pitää yllä rekisteriä hyväksytyistä laitoksista. Eläinten lanta ja turvalliset kasvijätteet eivät tarvitse erityisiä käsittelyjä maatilakohtaisessa laitoksessa, jos lopputuotetta käytetään vain maatilan omaan käyttöön. Tällöin ei tarvita laitoshyväksyntää. Laitoshyväksyntä tarvitaan, mikäli laitos käsittelee lisäksi yhden tai useamman tilan lantaa, kasvibiomassaa tai jäteperäistä materiaalia, joka saattaa sisältää kasvitaudinaiheuttajia, ja biokaasulaitoksen lopputuote menee markkinoille. Laitoshyväksynnän lisäksi tarvitaan yleensä myös ympäristölupa ammattimaiseen jätteen käsittelyyn. Biokaasulaitoksen kokoluokan mukaan ympäristöluvan myöntää kunnan ympäristöviranomainen tai aluehallintoviranomainen. (Motiva 2013.)

Toimijoiden on varmistettava, että laitosten valvonnan hyväksyy toimivaltainen viranomainen, jos eläinten sivutuotteita toimitetaan biokaasun tuotantoon. Toimijoiden, jotka käyttävät eläinten sivutuotteita biokaasutuotannossa, on otettava käyttöön, toteutettava ja ylläpidettävä pysyvää kirjallista ohjetta tai ohjeistuksia perustuen vaaran arviointiin ja kriittisten valvontapisteiden (HACCP) periaatteisiin. (EUR-Lex 2009.)

Biokaasun tankkausaseman sijoituspaikan haussa tulee selvittää alueen kaavoitustilanne kunnan rakennusviranomaisen kanssa. Rakennus- tai toimenpidelupa tarvitaan tankkausaseman perustamiseen, ja sen myöntää kunnan rakennusviranomainen. Lisäksi rakentamislupa ja kaasuputkiston sijoituslupa ovat välttämättömiä lupia. Rakentamisluvan myöntää turvatekniikan keskus TUKES. Maanomistajan kanssa sovitaan kaasuputkiston sijoittamiseen liittyvistä oikeuksista. Tiehallinnon lupa tarvitaan, kun alitetaan maantie tai jos tankkausasema liittyy siihen. (Suomen kaasuyhdistys & Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES 2016.)

2.4.1 Materiaalit

Eläinten sivutuotteet jaotellaan kolmeen kategoriaan niiden sisältämän riskin mukaan. Kategoriaan 1 kuuluu kokonaiset ruhot ja kaikki ruhon osat, eivätkä ne sovellu mädätykseen. Kategoriaan 2 sisältyy muun muassa lanta, ruoansulatuskanavan sisältö, veri, kuolleet eläimet ja eläinten sivutuotteiden keräys jätevedenkäsittely aikana. Kategorian 2 materiaaleja voidaan hyödyntää biokaasutuotannossa, kun ne steriloidaan 133 asteessa 3 barin paineessa 20 minuutin ajan palakoon ollessa alle 50 mm. Teurastetut ja tapetut ruhot ja ihmisten käyttöön soveltuvat eläinten osat, ruoka- ja biojäte, lihaa sisältävät jätteet ruokateollisuudesta ja likaiset ylijäämät kuuluvat kategoriaan 3. Näitä voidaan myös hyödyntää biokaasulaitoksella, mutta ne tulee hygienisoida ennen prosessiin syöttämistä 70 asteessa 60 minuutin ajan, kun palakoko on alle 12 mm. (EUR-Lex 2009.)

Maatilojen omissa biokaasulaitoksissa ei yleensä tarvitse esikäsitellä lietelantaa, vaan se kerätään usein esisäiliöön, josta se johdetaan biokaasuprosessiin. Kasvibiomassoille ei myöskään yleensä tarvitse suorittaa hygienisointia. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 48.)

Puhdistamolietteet tulevat biokaasulaitokselle tyypillisesti linkouksen, ruuvipuristuksen tai suotonauhapuristuksen jälkeen, eivätkä ne sisällä isoja kiinteitä kappaleita. Vanhempien puhdistamoiden hiekanerotuksessa voi olla ongelmia, jolloin hiekka päätyy puhdistamolietteen joukkoon. Lietteiden käsittely ei vaadi niin suuria investointeja kuin kiinteiden materiaalien esikäsittely, ja lietteitä on siten helpompia käsitellä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 53.)

Rasvalietteiden esikäsittelyyn riittää yleensä seulonta ja niiden varastosäiliössä on hyvä olla jatkuvatoiminen sekoitus, sillä rasva jakaantuu helposti säiliön pintaan. Rasvalietteet sekoitetaan yleensä esikäsittelyn jälkeen biojätteen tai puhdistamolietteen sekaan. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 55.)

Kategorian 2 materiaalin päätyessä biokaasutuotantoon tulee sen käsittelyä seurata painesteriloinnilla ja merkitsemällä pysyvästi syntyvän materiaalin. Lannan, ruoansulatuskanavan ja sen sisällön, maidon, maitoperäisten tuotteiden, ternimaidon, kananmunien ja munatuotteiden tapauksissa, joiden toimivaltainen viranomais ei katso aiheuttavan riskiä vakavan tarttuvan taudin leviämiseksi, ne tulee levittää käsittelemättömänä maahan. Toisen ja kolmannen kategorian materiaalit tulee muuntaa säilörehuksi, kompostoida tai muuntaa biokaasuksi, jos kyseessä on vesieläinperäinen materiaali. (EUR-Lex 2009.)

2.4.2 Lannoitteet

Lannoitevalmisteiden tulee olla tasalaatuisia, turvallisia ja käyttötarkoitukseensa sopivia, eivätkä ne saa sisältää sellaisia määriä haitallisia aineita, eliöitä tai tuotteita, että sen käyttö voi aiheuttaa vaaraa ihmisten, eläinten tai kasvien terveydelle. Lannoitevalmisteiden raaka-aineiden ja niistä valmistettujen lannoitevalmisteiden tulee täyttää niille asetetut laatuvaatimukset. Toiminnanharjoittajan, joka valmistaa tai käsittelee lannoitevalmisteita markkinoille saattamista varten, on pidettävä toiminnastaan ajan tasalla olevaa tiedostoa, josta ilmenee valvontaa varten tarpeelliset tiedot. Lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita valmistavan toiminnanharjoittajan on oltava Elintarviketurvallisuusviraston hyväksymä ennen toiminnan aloittamista. (Lannoitevalmistelaki 539/2006, 5, 12 §.)

Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen mädätysjäännös katsotaan raakalannaksi, mikäli laitoksella käsitellään vain oman tilan raaka-aineita ja mädäte hyödynnetään omalla pellolla. Kun jätteitä ja lannoitevalmisteita luovutetaan tilan ulkopuolelle, katsotaan tämä lannoitevalmisteiden markkinoille saattamiseksi. Tällöin lannoitevalmistelainsäädännön vaatimukset on täyttyvä lopputuotteiden osalta. Puhdistamolieteperäisten lannoitevalmisteiden viljelykäyttöön liittyy rajoitteita, joten niiden hyödyntämisessä on kiinnitettävä erityishuomiota. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 184.)

Orgaanisia lannoitteita ja maanparannusaineita voidaan asettaa markkinoille ja käyttää, mikäli ne on johdettu kategorian 2 tai 3 materiaaleista. Lisäksi niiden on oltava valmistettu painesterilisoinnin olosuhteiden mukaisesti tai muulla tavalla, jotta estetään riskien ilmeneminen ihmisten tai eläinten terveydelle. Orgaanisissa lannoitteissa ja maanparannusaineissa käytetyt liha- ja luu -ruoat kategorian 2 materiaalista ja prosessoidut eläinten proteiinit tulee sekoittaa jonkin ainesosan kanssa, jotta torjutaan seoksen myöhempi käyttö ruokinnassa. (EUR-Lex 2009.)

Eläinten sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden vienti tulisi estää, kun tavoitteena on käyttää niitä biokaasu- tai kompostointilaitoksella kolmansiin maihin, jotka eivät ole Taloudellinen Yhteistyö ja Kehitys -järjestön (OECD) jäseniä, jotta estetään mahdolliset haitalliset ympäristövaikutukset ja riskit ihmisten ja eläinten terveydelle. (EUR-Lex 2009.)

2.5 Lopputuotteet

Mädätysprosessista syntyvää biokaasua voidaan hyödyntää lämmön tai sähkön tuottamiseen, kotitalouksissa kaasuna tai liikennepolttoaineena. Palamisen lopputuotteena syntyy vain vettä ja hiilidioksidia, joten biokaasun sisältämä metaani soveltuu hyvin polttoaineeksi. Biokaasusta tulee poistaa hiilidioksidi ja epäpuhtaudet, jotta sitä voidaan käyttää liikennepolttoaineena. Biokaasua voidaan hyödyntää liikenteessä paineistettuna ja nesteytettynä. Suurin osa Suomen biokaasulaitoksista on pieniä CHP-laitoksia, eli yhdistetyn sähkön ja lämmön tuottajia. Energiaa tuotetaan laitoksen omaan käyttöön, ja pienimmät laitokset tuottavat ainoastaan lämpöenergiaa, jolloin kaasu poltetaan lämpölaitoksen kattilassa. (Motiva 2014.)

Lämmöntuotanto johtaa 90 prosentin hyötysuhteeseen ja lämmön ja sähkön yhteistuotanto (CHP) 85 prosenttiin, josta 50 prosenttia on lämmön osuus. Liikennepolttoaineiksi jalostettaessa lopullinen hyötysuhde riippuu ajoneuvon kulutuksesta, mutta häviö on noin pari prosenttia. (Motiva 2014.)

Biokaasuprosessi tuottaa aina mädätysjäännöstä, eli mädätettä, biokaasun lisäksi. Mädate koostuu pääosin hajoamattomasta materiaalista sekä mikrobibiomassasta, joka muodostuu mädätysprosessista. Syötteiden ravinteet, kuten typpi, fosfori ja kalium, jäävät mädätysjäännökseen, joten ravinteiden kokonaispitoisuus ei siis muutu prosessissa. Mädätettä voidaan hyödyntää lannoitteena ja maanparannusaineena ja sitä voidaan myös käsitellä korkeamman jalostusasteen lannoitevalmisteiksi. Tämä tapahtuu esimerkiksi erottamalla neste- ja kiintoainejakeet tai ammoniakkin erottamisella mädätteestä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 18.)

Mädate koostuu biokaasulaitokseen syötetyistä materiaaleista. Mädätteen ominaisuuksiin vaikuttavat raaka-aineiden lisäksi mädätyksen olosuhteet, kuten lämpötila, orgaaninen kuormitus ja käytetty teknologia. Osa materiaalista hajoaa biokaasuksi prosessin aikana, joten mädätteen kuiva-ainepitoisuus on alempi kuin syöttömateriaalin pitoisuus. Orgaanisen aineen pitoisuus on myös alempi verrattuna syötteisiin. Tästä syystä mädate on juoksevampaa ja tasalaatuisempaa kuin syöttömateriaali ja sitä voidaan hyödyntää tehokkaasti esimerkiksi kasvinravinnekäytössä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 94.)

TAULUKKO 3. Puhdistamolietettä sisältävien lannoitevalmisteiden ja tilan oman sakokaivolietteen suurimmat sallitut pitoisuudet (ProAgria 2013)

Alkuaine	Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet, (mg/kg kuiva-ainetta)
Arseeni (As)	25
Kadmium (Cd)	1,5
Kromi (Cr)	300
Kupari (Cu)	600*
Elohopea (Hg)	1,0
Nikkeli (Ni)	100
Lyijy (Pb)	100
Sinkki (Zn)	1 500*

*Kasvinravinteiksi luokiteltavien kuparin ja sinkin pitoisuudet saavat olla puhdistamolietetepohjaisessa, maanparannusaineena sellaisenaan käytettävässä sivutuotteessa enintään kaksinkertaiset, jos näistä ravinteista on puutetta maaperässä, johon lannoitevalmistetta käytetään.

Lannoitevalmisteet, jotka on valmistettu puhdistamolietteestä, luokitellaan maanparannusaineiksi, ja niiden sisältämät ravinteet on otettava huomioon lannoituksessa. Puhdistamolietteeseen kulkeutuu jäteveden-puhdistusprosessissa osa jätevedeen liuenneista ja suuri osa kiintoaineeseen sitoutuneista ravinteista, orgaanisista ja epäorgaanisista haitta-aineista sekä haitallisista metalleista. Tähän vaikuttavat jäteveden alkuperä sekä muut käytetyt raaka-aineet. Puhdistamolietettä sisältävät lannoitevalmisteet saavat sisältää vain tietyn määrän haitallisia metalleja (taulukko 3), ja niitä voidaan käyttää maataloudessa vain jos ne on käsitelty. (ProAgria 2013.)

3 BIOKAASUN TUOTANTO MAATILAMITTAKAASSA

Suomessa muodostuu noin 20 - 25 miljoonaa tonnia lantaa ja olkia 1,2 miljoonaa tonnia, joiden teoreettinen maksimipotentiaali biokaasun tuotannossa on noin 30 - 140 TWh². Peltobiomassoilla on Suomen markkinoilla biokaasutuotannossa paljon potentiaalia, ja Suomessa voitaisiin tuottaa pelkästään peltobiomassoista biokaasulla energiaa noin 1 - 6 TWh. Vastaavasti maataloudesta voitaisiin teknis-taloudellisesti tuottaa noin 2 - 10 TWh energiaa, joka sisältää sekä lannat että kasvibiomassan. (Biokaasuyhdistys 2016.)

TAULUKKO 4. Suomen maatilamittakaavan reaktorilaitokset sekä biokaasun hyödyntäminen ja metaanipitoisuudet vuonna 2015 (Huttunen & Kuittinen 2015)

Maatila	Tuot. (1000 m ³)	Sähk. (MWh)	Lämp. (MWh)	CH ₄ %
Ammattiopisto Livia, Tuoria	107	60	398	58
Haapajärven ammattiopisto	10	0	51	60
Huutola, Suomussalmi	68	136	196	58
Junttila, Nivala	50	116	166	67
Juntula, Suomussalmi	16	0	98	71
Kalmari, Laukaa	270	166	1253	60
Koivunen, Virrat	200	402	574	58
Kotimäki, Halsua	150	177	600	60
LUKE, Maaninka	62	24	275	55
Salmela, Orivesi	0	-	-	-
Virtaala, Haapavesi	36	84	119	67

3.1 Sivuvirrat ja niiden hyödyntäminen

Maataloudessa muodostuu paljon orgaanisia sivutuotteita ja jätteitä, joiden hyödyntämiseen liittyy yhä puutteita. Biokaasuteknologia mahdollistaa ravinnekierrätyksen, tuottaa uusiutuvaa energiaa ja edistää materiaali-kierrätystä, minkä takia biokaasuteknologian soveltaminen maatilatason ratkaisuisssakin on kannattavaa ja lisääntynyt viime aikoina. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 7 - 11.) Yleinen reaktori maatalouden sivutuotteiden ja jätteiden käsittelyyn on yksivaiheinen jatkuvatoiminen täyssekoitusreaktori. Prosessin lämpötila on reaktorissa yleensä mesofiilinen, eli 35 – 40 °C.

Maatalouden biokaasulaitokset on integroitu eläintalouteen tai viljantuotantoon, jolloin lanta ja kasvibiomassat ovat yleisimpiä syötteitä. (Luostarinen ym. 2011.)

Maataloudessa muodostuvia orgaanisia kasvin- ja kotieläintuotannon sivutuotteita voidaan hyödyntää maatilamittakaavan biokaasulaitoksella syötteinä. Lantaan erittyä vain heikommin hajoava aine, joten sen metaanintuottopotentiaali ei ole kovin korkea. Lantaa kuitenkin muodostuu tasaisesti ja suuria määriä, mikä on biokaasutuotannon kannalta tärkeää. Lantojen korkea puskurointikyky edesauttaa prosessin vakautta pitämällä sen pH:n tasaisena. Metaanituotto riippuu lantatyypistä, ja lietelanta on laimeutensa takia vähemmän metaania tuottava raaka-aine. Kuivalanta taas sisältää korkean kuiva-ainepitoisuuden, ja sen metaanituotto tuorepainoa kohti on korkeampi. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 36.)

Lannan lisäksi maatilamittakaavan laitoksissa käytetään usein syötteinä kasvibiomassoja, jotka voivat olla tarkoituksellisesti tuotettuja, eli niin kutsuttuja energiakasveja. Syötteinä voidaan myös käyttää muun kasvituotannon ohessa muodostuvaa materiaalia, eli sivutuotteita tai jätteitä. Suomessa potentiaalisin energiakasvi on nurmi, jonka käyttö edistää osaltaan ravinnekiertoja maataloudessa. Oljen kuiva-ainepitoisuus on noin 86 - 90 %, josta orgaanista ainesta on 92 %. Oljesta tuotettu energiamäärä voisi olla merkittävä, jos edes osa pellolta pois kerättävästä määrästä saataisiin hyödynnettyä biokaasutuotannossa. Korsiintunut kasvibiomassa hajoaa heikommin ja tuottaa vähemmän biokaasua. Yleisesti ottaen kasvibiomassojen metaanituotot ovat korkeampia kuin eläinten lannan, koska ne sisältävät enemmän orgaanista ainesta. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 37 - 39.)

Maatilamittakaavan biokaasulaitoksessa voidaan käyttää oman tilan materiaaleja ja muita raaka-aineita, jolloin on kyseessä tilatason laitos. Toiminta tulkitaan jätteen laitosmaiseksi käsittelyksi, mikäli laitoksessa käsitellään lannan lisäksi myös tilan ulkopuolisia jakeita, kuten biojätettä. Tällöin laitokselle tulee hakea ympäristölupa toiminnan muuttuessa oleellisesti. Biokaasulaitoksella voidaan käsitellä tilan peltoviljelyksessä

syntyvät sivutuotteet, kuten olki ja naatit, joiden voidaan katsoa olevan puhdasta raaka-ainetta. Tässä tapauksessa näiden käsittely omalla tilalla lannan kanssa ei tee laitoksesta jätteenkäsittelylaitosta. (Taavitsainen 2006.)

Biokaasulaitos voidaan myös rakentaa useamman maatilán yhteiseksi laitokseksi, jolloin laitos sijaitsee jollakin tilalla ja sinne tuodaan yhden tai useamman maatilán raaka-aineita syötteiksi. Tällöin ympäristölupa haetaan laitokselle eläinsuojaluvan yhteydessä. Kyseinen lupa käsittää oman tilán sekä ulkopuolisen lannan käsittelyn. Kasviperäisten jätteiden ja yhdyskuntalietteen käsittely tilojen yhteisellä laitoksella tulkitaan laitosmaiseksi jätteen käsittelyksi, jolloin biokaasulaitokselle tulee hakea ympäristölupa. (Taavitsainen 2006.)

Kasvibiomassojen ja kuivien lantojen käsittelyssä ei tarvita hygienisointia, mikä tekee niistä potentiaalisia syötteitä maatilamittakaavan biokaasulaitokselle. Maatilán ulkopuoliset lannat ja kasvibiomassat tuovat tilán ravinnekiertoon uusia ravinteita, joiden tulisi olla käytettävissä tilán omilla pelloilla. Vaihtoehtoisesti raaka-aineiden tulisi olla luovutettavissa muiden tilojen käyttöön ulkopuolisia materiaaleja käsiteltäessä. Tässä tapauksessa materiaalit voivat vaatia hygienisointia tai muuta käsittelymenetelmää, mikä lisää laitoksen kustannuksia. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 90.)

Biokaasu voidaan hyödyntää eri tavoin, joista yksinkertaisin ja yleisin menetelmä maatalouksissa on polttaa se lämmöksi (taulukko 4) kaasukattilassa. Biokaasusta ei tällöin tarvitse poistaa kuin kosteus. Kaasua voi myös hyödyntää sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, jolloin käytetään kaasumoottoria tai -turbiinia. Hyötysuhde menee niin, että 30 - 40 % energiasta saadaan talteen sähkönä ja osa lämmöstä menee hukkaan kokonaishyötysuhteen ollessa luokkaa 80 - 90 %. Biokaasusta voi myös poistaa hiilidioksidin, jolloin lopputuotteena saadaan biometaania. Biometaani voidaan hyödyntää maakaasuverkon kautta tai liikennepolttoaineena erillisen paineistus- ja tankkausyksikön kanssa. (Luostarinen 2013.)

3.2 Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät

Maatilakohtainen biokaasulaitos on arvokas investointi, joten laitoksen kannattavuutta tulee selvittää ja suunnittelu tehdä huolella.

Kannattavuuteen vaikuttavat muun muassa investoinnin suuruus, mahdolliset tuet, tuotetun energian arvo sekä käsittelyjäännöksen ravinteiden arvo. Maatilan biokaasulaitos mitoitetaan saatavilla oleville syöttömateriaaleille ja tekniikka valitaan niille soveltuvaksi. Biokaasulaitos voi toimia energiantuotannon lisäksi ratkaisuna maatilan lannankäsittelylle, joissain tapauksissa tämä voi olla jopa ensisijainen motiivi laitoksen rakentamiselle.

Sikaloilla on yleisesti suurempi energiantarve, erityisesti lämmön osalta, kuin karjataloilla. Sikalojen biokaasulaitoksilla energia saadaan yleensä hyödynnettyä tilalla ostoenergian korvaajana kokonaisuudessaan. Karjataloilla lämmöntarve on alhaisempi. Maatilakohtaisissa laitoksissa paras hinta sähkölle saavutetaan, kun sitä tuotetaan omaan käyttöön. Mikäli sähköä tuotetaan omaa tarvetta enemmän tai sähkö halutaan myydä, on neuvoteltava paikallisen energiayrityksen kanssa sähkön oston ehdoista. (Luostarinen 2013.)

Maatiloille tarkoitettua investointitukea myönnetään tilojen omaa energiantarvetta palveleville laitoksille (Åkerlund 2016). Investointitukien tavoitteena on pääasiassa maatalouden toimintaedellytysten ja kilpailukyvyn kehittäminen. Tukien avulla edistetään maataloustuotannon tehokkuutta ja laatua kestävän kehityksen periaatteita noudattaen. Maatila voi saada tukea myös biokaasulaitoksen rakentamiseen, jonka avulla biomassasta tuotetaan kaasua käytettäväksi esimerkiksi maatilan rakennusten lämmittämiseen. (Motiva 2015c.) Tuilla pyritään erityisesti edistämään uuden energiateknologian käyttöönottoa ja markkinoille saattamista (Motiva 2015b).

Uusiutuvien energialähteiden käyttöä pyritään lisäämään erilaisilla tukitoimilla. Syöttötariffilla tuotetulle sähkölle taataan vähimmäishinta tietyksi ajaksi ja valtio maksaa erotuksen suhteessa markkinahintaan.

(Kymäläinen & Pakarinen 2015, 19.) Syöttötariffi on tarkoitettu uudelle biokaasulaitokselle, joka syöttää sähköä sähköverkkoon. Sen tarkoituksena on synnyttää energiaa tuottavia yli 100 kVA:n biokaasulaitoksia. Investointituilla kannustetaan energiantuotantoon liittyviin investointeihin. Investointituki on tarkoitettu biokaasulaitoksille, jotka tuottavat energiaa, mutta eivät sovellu syöttötariffin mukaiseen määritelmään. (Åkerlund 2016.)

Suomessa biokaasulaitokset saavat kannattavuutensa pääasiassa käsiteltäväksi tuotavan materiaalin porttimaksuilla. Porttimaksut koskevat useimmiten suurempia biokaasulaitoksia, mutta myös pienet maatilamittakaavan biokaasulaitokset voivat vastaanottaa ja käsitellä jätettä ja saada siitä maksun. Yksi tapa lisätä laitoksen kannattavuutta on jalostaa biokaasu liikennepolttoaineeksi. Tällöin päästään eroon ylijäämälämmön aiheuttamasta ongelmasta kesäisin. Tuotetusta energiasta saa lisäksi paremman hinnan kuin sähköön ja lämmön tuotannosta. Biokaasun myynti liikennepolttoaineeksi lisää laitoksen kuluja ja sitoo enemmän resursseja verrattuna sähköön ja lämmön tuotantoon. (Motiva 2013.)

Biokaasua voi myös käyttää sähköön tuotannossa. Biokaasun tuotannossa käytettävistä resursseista riippuen loppukulutukseen saadaan sähköä 20 - 40 %:n hyötysuhteella. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 152.) Suomessa biokaasusähköön tuottaja saa 13,35 senttiä myymästään kilowattitunnista. Tämä koskee laitoksia, joiden sähköntuotantoteho on yli 100 kilowattia. Alle 100 kilowatin pienemmille biokaasulaitoksille, jotka haluavat syöttää sähköä verkkoon, on käytössä 4 sentin/kWh sähköön markkinahinta. Syöttötariffijärjestelmään liittyneet laitokset eivät voi saada investointitukea, ja niissä ei saa olla käytettyjä osia. (Motiva 2013.)

4 MATERIAALIT JA METODIT

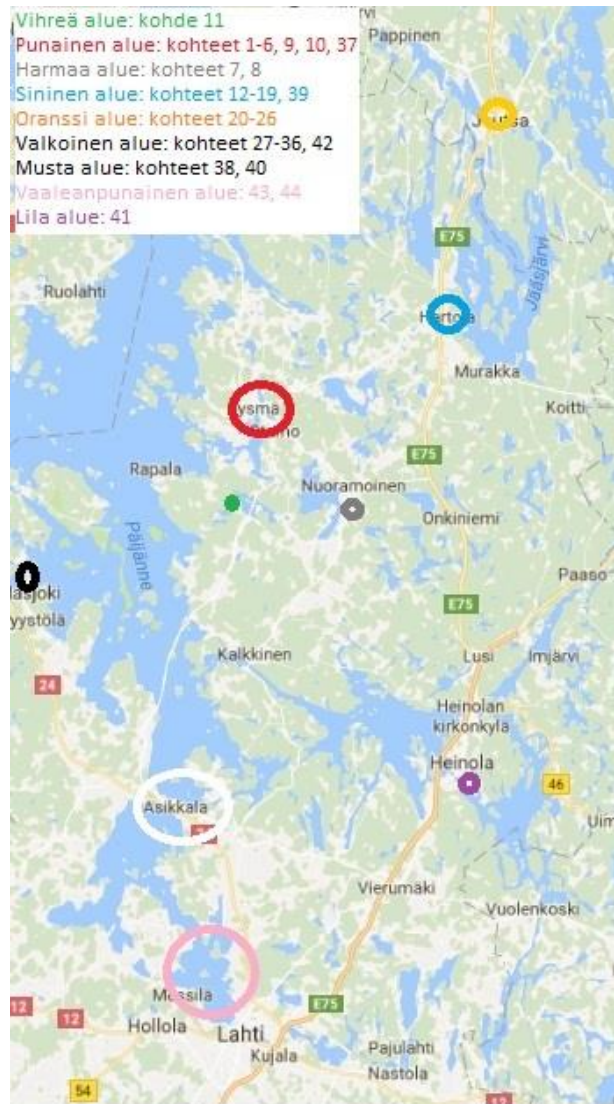
Biomateriaalien selvitystyö on tehty taustaselvitykseksi sysmäläisen Mattilan maatilán suunnitellulle biokaasulaitokselle. Tavoitteena on selvittää lähialueella saatavilla olevien materiaalien määrä sekä niiden soveltuvuutta biokaasuprosessiin. Biomassakartoitus antaa suuntaa biokaasulaitoksen tekniselle toteutukselle ja kannattavuudelle. Laitoksen perustamisen motiivi on myös maatalouden orgaaniset lannoitteet. Työn perimmäisenä tavoitteena on mahdollistaa kannattava liiketoiminta maatilán biokaasulaitokselle.

4.1 Työn toteutus

Työssä hyödynnettävä materiaalitieto on kerätty yhteydenotoilla potentiaalisiin lähialueen yrityksiin. Yritykset haastateltiin puhelimen tai sähköpostin välityksellä. Tutkimuksessa huomioidaan kyselyyn vastanneiden toimijoiden materiaalivirrat. Vastaamisaktiivisuus lähialueen yrityksillä oli noin 47 %, ja kaiken kaikkiaan kyselyn palautti 43 yritystä.

Haastateltavat yritykset valittiin ensisijaisesti sijainnin mukaan sekä yritykseltä muodostuvan materiaalin perusteella. Yrityksiltä selvitettiin muodostuva biologisesti hajoava materiaali, materiaalin tasalaatuisuus/tuotannon tasaisuus, määrä, kuiva-ainepitoisuus, nykyinen käsittelytapa, käsittelymaksu sekä alustava kiinnostus toimittaa materiaaleja biokaasutuotannon syötteiksi. Aluksi kartoitettiin lähialueen biosivuvirtoja tuottavia yrityksiä suunnilleen 50 kilometrin säteellä maatilasta. Sijainnin lisäksi kartoitettavat yritykset valittiin tuotannon alan perusteella, ja siksi esimerkiksi erilaiset ravintolat, leipomot, koulut ja ruokakaupat sisältyivät kartoitukseen (kuva 1).

Työssä tarkastellaan kaikkien saatavilla olevien (kartoitukseen sisältyvien) materiaalien metaanipotentiaaleja, materiaalien soveltuvuutta sekä kahta maatilán omaan liettelantaan pohjautuvaa syöteseosta.



KUVA 1. Kartoitettujen yritysten sijainnit; kohteet sijoittuvat rajattuihin alueisiin

Yritykset listattiin Excel-taulukkoon, jolla pyrittiin selvittämään muun muassa muodostuvan biovirran määrä, tuotannon tasaisuus ja ominaisuudet, kuten kuiva-ainepitoisuus ja metaanimäärä (liite 1). Jos yhteyshenkilöllä ei ollut mahdollisuutta haastatteluun, lähetettiin täydennettävä lomake sähköpostiin myöhemmin täytettäväksi.

Salassapidon takia yritysten nimet jätettiin pois taulukosta ja merkittiin sen sijaan numeroilla. Biojätteiden määrät (litroina tai kuutioina) muunnettiin kiloiksi vuodessa, jolloin biojätteen litramäärä puolittuu kiloiksi (Petra-jätevertailu 2016).

Tuloksia verrataan kirjallisuuteen (taulukko 5) sekä Mattilan maatilán työntilauksen yhteydessä antamaan ohjeistukseen (katso 4.2) ja tehdään johtopäätökset materiaalien soveltuvuudesta biokaasuprosessiin. Koska materiaaleista ei tehdä spesifisiä metaanintuottopotentiaalikokeita eikä eri jakeista koostuvan sivutuotevirran suhteelliset osuudet ole tiedossa, tarkastellaan potentiaaleja kirjallisuudesta materiaaleille annetuilla riittäväillä vaihteluväleillä (minimi- ja maksimiarvo).

Suurin osa yrityksistä ei tiennyt jätteidensä kuiva-ainepitoisuuksia lukuun ottamatta jätevedenpuhdistamoita. Materiaalitietoja on täydennetty kirjallisuudesta löytyvillä raja-arvoilla (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Teoriaosuudessa esitetystä kirjallisuudesta soveltuvat löydettyihin materiaaleihin liittyvät metaanintuottopotentiaalit ja kuiva-ainepitoisuudet prosentteina (Luostarinen 2011; Luste ym. 2013; Biokaasulaskuri 2014)

Raaka-aine	Metaanipot. (m ³ /tVS)	TS	VS
Biojäte*	270	28	26
Puhdistamoliete	220-430	4,5-5,6	3,0-3,5
Vihannesjäte*	250	3,2-3,8	3,0-3,2
Leipomojäte*	490	53	50
Kalajäte	370	26	23
Säilörehu	213-360	20-40	18-36
Rasvajäte*	800	40	36
Lietelanta	150-200	7	5,8

Merkittyjen (*) raaka-aineiden tiettyjen seosten metaanimäärän laskemisessa on käytetty keskimääräistä orgaanisen aineksen pitoisuutta (VS) sekä metaanintuottopotentiaalia.

Syöteseosesimerkit pohjautuvat useiden maatala biokaasulaitosten tapaan lehmän lantaan. Seosesimerkeissä on huomioitu lainsäädännön vaikutukset lopputuotteiden hyödynnykseen ja kirjallisuudesta käytettyjä yleisimpiä seossuhteita, kuten seoksissa 1 ja 2 suhdetta 1:3 (Rosenwinkel & Meyer 1999; Murto, Björnsson & Mattiasson 2004; Luste 2011).

4.2 Mattilan maatila

Maatilalla on valmiina 800 m³:n lietesäiliö, josta on tarkoitus tehdä varsinainen reaktori biokaasuprosessiin. Tilalla on myös 150 m³:n lietesäiliö, josta tehdään jälkikaasutusallas. Maatilalla on hiehoja ja lampaita ja lietettä muodostuu vuodessa 300 - 400 m³. Sähkönkulutus on luokkaa 20 000 kWh vuodessa, ja lämmitykseen käytetään klapikattilaa. Lämmitykseen ei ole tarvetta käyttää biokaasusta saatavaa energiaa, joten biokaasusta suunnitellaan jalostettavan liikennepolttoainetta. Maatilan arvioima vuosituotanto biokaasulaitokselle on 7 000 - 8 000 m³ metaania.

Kirjallisuudesta saaduilla ohjearvoilla on laskettu karjan lannan kanssa ajetulle materiaaliseokselle arvio laitoksen vaatimasta materiaalin määrästä käyttäen kuormitusväliä 2 - 3 kgVS/m³d (Rosenwinkel & Meyer 1999; Murto ym. 2004; Luste 2011).

Kuormituskaava (kaava 1) OLR kertoo orgaanisen aineksen määrän päivittäisessä syötössä (Luste 2011).

$$[kgVS/m^3d] = V [m^3] \quad (1)$$

Tällöin materiaalin määrä päivässä vähintään on 2 kgVS/m³d * 800 m³ = 1 600 kgVSd ja korkeintaan 3 kgVS/m³d * 800 m³ = 2 400 kgVSd. Tarvittavan materiaalin määrä vaihtelee näin ollen välillä 1 600 – 2 400 kgVSd. Tämä vastaa 580 000 – 880 000 kgVS vuodessa.

5 KARTOITUKSEN TULOKSET

Tulokset koostuvat sekä kerätystä tiedosta että niistä johdetuista tai kirjallisuudesta liitetyistä tiedoista, kuten esimerkiksi teoriaosuuden kirjallisuudessa esitetyt metaanintuottopotentiaalit. Materiaalien välillä on eroavaisuuksia, joten annetut tulokset ovat kirjallisuuteen pohjaavia arvioita. Tarkat materiaalipohjaiset tarkastelut vaativat erilliset metaanintuottopotentiaalikoheet.

Kuvan 1 mukaan kaikki kohteet ovat 60 kilometrin säteellä maatilasta ja punaisella, sinisellä, oranssilla ja valkoisella alueilla on kaikissa yli 6 kohdetta. Eniten jätettä muodostuu valkoiselta alueelta ja vähiten harmaalta (taulukko 6). Liitteen 1 mukaan kohteista 10, 11, 16, 17, 19, 20, 22, 24, 25, 29, 30, 33, 36, 37 ja 41 muodostuu tasaisesti tai melko tasaisesti materiaalia vuosittain. Muilla yrityksillä muodostuu vaihtelevasti jätettä ja yleensä talvella tulee vähän vähemmän ja kesällä taas enemmän liiketoiminnan ollessa kiireisintä.

TAULUKKO 6. Alueiden etäisyydet maatilasta, jätteiden määrät vuodessa sekä kohteiden lukumäärät

Alue kartalla	Etäisyys maatilasta (km)	Jäte kg/vuosi	Kohteiden lkm
Punainen	14	273995	9
Harmaa	20	1205	2
Sininen	35	53765	9
Oranssi	53	67 557	7
Valkoinen	33	867752	11
Lila	58	350 000	1
Vaaleanpunainen	55	223000	2
Musta	52	183500	2
	yht.	1670774	43

Suurin osa kartoitusalueen yrityksiltä muodostuvista materiaaleista koostuu ruokajätteestä, joka on yleensä peräisin ravintola- tai kahvilatoiminnasta. Taulukon 7 materiaaleista kalajäte ja kohteen 11 (Mattilan maatala) liete ovat ainoita prosessoimattomia biomateriaalivirtoja.

TAULUKKO 7. Kyselyn tulokset (jätejake ja määrä). Yritykset, eli kohteet taulukossa, on numeroituna 1-44

Kohde	Muodostuva biologisesti hajoava materiaali	Määrä kg/a
1	Biojäte	noin 7 200
2	Biojäte	
3	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet, paperi	noin 2 000
4	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet, leipomojäte	noin 4 800
5	Ruokajäte	noin 480
6	Ruokajäte, leipomojäte	noin 360
7	Ruokajäte, vihanneskäsittelyjäte	noin 460
8	Ruokajäte	noin 750
9	Ruokajäte	noin 210
10	Ruokajäte	noin 9 000
11	Liete	300 000 - 400 000
12	Ruokajäte, leipomojäte	
13	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet	noin 590
14	Ruokajäte	noin 960
15	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet	noin 16 000
16	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet	noin 29 000
17	Ruokajäte, paperi	noin 1 800
18	Ruokajäte, paperi	noin 1 100
19	Ruokajäte	noin 3 900
20	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet	noin 17 000
21	Ruokajäte	noin 10 000
22	Ruokajäte, servetit	noin 2 400
23	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet	noin 7 300
24	Ruokajäte	noin 1 800
25	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet, syväpaistoöljy	noin 27 000
26	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet	noin 1 800
27	Ruokajäte	noin 5 200
28	Ruokajäte, öljyt, rasvat	noin 3 300
29	Ruokajäte, leipomojäte	noin 14 000
30	Biojäte, paistorasva	noin 160 000
31	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet	noin 12 000
32	Ruokajäte	noin 5 500
33	Ruokajäte	alle 1 800
34	Ruokajäte, käsipaperi	noin 370
35	Ruokajäte	
36	Puhdistamoliete	800 000
37	Puhdistamoliete	noin 250 000
38	Puhdistamoliete	noin 180 000
39	Kalat	noin 600
40	Kalan perkausjäte, pienet kalat	2 000 - 5 000
41	Puhdistamoliete	200 000 - 500 000
42	Viher- ja ruokapohjaiset jätteet	noin 10 000
43	Kalat	noin 73 000
44	Kalat	100 000 - 200 000

Saatavilla olevien orgaanisten sivutuotteiden (taulukko 7) sisältämän metaanin määrä vaihtelee 39 000 ja 68 000 m³:n välillä vuodessa. Saadut arvot on laskettu orgaanisen aineksen, materiaalin määrän ja metaanintuottopotentialin (taulukko 5 ja 7) avulla, ja ne ovat arvioita ja perustuvat kirjallisuuslähteisiin.

6 TARKASTELU

6.1 Materiaalit

Kaikkien saatavilla olevien kartoitettujen yritysten materiaalien biokaasupotentiaali vuodessa on noin 39 000 – 68 000 m³CH₄. Tämä vastaa noin 390 000 – 680 000 kWh sähköä, 39 000 – 68 000 litraa raakaöljyä tai 510 000 – 880 000 kilometriä autoilua vuodessa. (1 m³ metaania on 1 l raakaöljyä tai 10 kWh sähköä tai ~13 km autoilua).

Liitteen 1 mukaan kartoitettavilta yrityksiltä muodostuu viher- ja ruokapohjaisia jätteitä, leipomojätettä, rasva- ja öljyjätettä, kalajätettä sekä puhdistamolietejätettä. Kaikki saatavilla oleva materiaali ei kuitenkaan sovellu tai mahdu käsiteltäväksi kyseessä olevan kokoluokan biokaasulaitoksella. Kokoluokan vuoksi pitää keskittyä materiaaleihin, jotka lisäävät sekä kaasuntuottoa että mädätteen hyödynnettävyyttä lannoitteena, mutta eivät vaadi huomattavia kustannuksia.

Miltei kaikki materiaalit soveltuisivat yhteiskäsittelyyn lannan kanssa, ja esimerkiksi puhdistamoliete ei sisällä huomattavasti lantaa suurempaa metaanintuottopotentiaalia. Siten se vähentää lopputuotteen hyödynnettävyyttä ja lisää prosessin kustannuksia vaaditun hygienisoinnin takia. Puhdistamolietteen käyttö on myös kallista, koska sen vesipitoisuus on korkea ja tällöin orgaanisen aineksen osuus pieni, mikä on olennaista tuotannon kannalta.

Jos laitos (vuosituotanto 7 000 – 8 000 m³ metaania) käyttäisi pelkästään lietelantaa, sitä tarvittaisiin noin 9 500 – 14 000 m³ vuodessa kuormitusvälin ollessa 2 - 3 kgVS/m³d (Rosenwinkel & Meyer 1999; Murto ym. 2004; Luste 2011). Maatilalla lietettä muodostuu vuodessa 300 - 400 m³, joten yhteismädätykseen tarvitaan materiaalia 280 - 480 t. Tällöin seossuhde lannan ja saatavilla olevien, lähinnä biojätteeseen rinnastettavien materiaalien, välillä olisi 1:1. Kirjallisuudesta ei löydy esimerkkiä näin ison biojättesuhteen soveltuvuudesta, sillä orgaanisten happojen määrä nousee helposti liian suureksi, mikä lisää rektorin riskiä

inhiboitua (Paavola, Syväsalu & Rintala 2006). Kirjallisuudessa optimisuhteeksi on annettu 1:3, jolloin prosessi vielä toimii esimerkkikuormituksella (Rosenwinkel & Meyer 1999; Murto ym. 2004). Tarkastelussa on huomioitava, että laskuissa on käytetty koko reaktoritilavuutta, jota ei kuitenkaan voida käytännössä kokonaan hyödyntää. Tämä laskee hieman myös sivutuotteiden tarvetta.

Kustannusten kannalta olisi järkevää yhteismädättää lähellä olevia materiaaleja, jotka on saatu samasta kohteesta kerralla. Taulukon 6 mukaan lähimpänä maatilaa ovat punaisen alueen, harmaan alueen, sinisen alueen sekä valkoisen alueen kohteet. Harmaa alue sisältää vain kaksi kohdetta, ja jätettä muodostuu vain 1 200 kg vuodessa, joten materiaalin määrän kannalta ei olisi kannattavaa kuljettaa biovirtoja kyseiseltä alueelta. Harmaan alueen materiaalivirtojen tuotannon tasaisuus on lisäksi melko epätasaista ja molemmissa kohteissa (7, 8) kesäaikaan materiaalien tasaisuus vaihtelee.

Punaisen alueen kohteet ovat lähellä maatilaa, ja niistä muodostuu melko paljon jätettä vuodessa. Kuitenkin vain kohteista 10 ja 37 muodostuu tasaisesti materiaalia (liite 1). Yhteismädätys useammasta kohteesta saattaa kuitenkin olla kannattavaa punaisen alueen kohteiden kohdalla, jos haetaan useita materiaaleja kerralla. Sininen alue on myös etäisyydeltään kannattavalla sijainnilla. Materiaalia muodostuu kohtalaisen paljon (noin 160 kiloa päivässä), ja kohteista 16, 17 ja 19 muodostuu tasaisesti jätettä.

Valkoinen alue sisältää eniten kohteita ja jätteitä ja on siksi potentiaalisin materiaalien hakukohde. Etäisyyden kannalta toiminta olisi myös kannattavaa. Valkoisella alueella kohteet 29, 30, 33 ja 36 tuottavat tasaisesti materiaalia.

Loput alueet (oranssi, lila, musta ja vaaleanpunainen) ovat melko kaukana maatilasta, joten niiden kohdalla olisi kannattavaa kerätä samalla useammistakin kohteista materiaaleja. Toisaalta oranssin alueen kohteista yli puolet tuottaa materiaalia tasaisesti, mikä on tärkeää

biokaasuprosessin kannalta. Vaaleanpunaisella alueella on vain kaksi kohdetta, mutta jätettä muodostuu paljon. Tämä tekee siitä mahdollisen ravinnelähteen. Lisäksi mustan alueen sisältämä materiaali koostuu kalajätteestä, joka ei vaadi esikäsittelyä biokaasun tuotannossa.

Tämän perusteella kannattavinta yhteismädätykseen on valita kohteet 10, 16, 17, 19, 29, 30, 33, 36 ja 37, joista yhteensä on saatavilla materiaalia vuodessa noin 1 000 t. Kohteista saatavilla oleva materiaali on viher- ja ruokapohjaista jätettä, leipomojätettä, paistorasvaa ja puhdistamolietettä.

6.2 Syöteseokset

Saatavilla olevista materiaaleista voidaan muodostaa kaksi eri seosta (syöteseos 1 ja syöteseos 2), jotka olisivat potentiaalisimmat Mattilan maatilán biokaasulaitokselle. Syöteseoksessa 1 on lietelantaa ja kalajätettä. Kasvibiomassoja voidaan lisätä saatavuuden mukaan. Syöteseokseen 2 kuuluu lietelantaa ja biojätettä, jonka käsittely vaatii hygienisoinnin. Esimerkeissä käytetään oletuksena, että karjanlantaa saadaan naapurituloilta käsiteltäväksi maatilán oman lannan lisäksi, mikä mahdollistaa kirjallisuuden syöteseosten optimiarvot.

Syöteseoksissa käytetään suhdetta 1:3, jonka toimivuus kannattaa testata käytännössä. Kyseinen suhde olisi toimiva, sillä biojätteestä saa porttimaksua, joka tuo siten lisätuloja maatilalle. Toisaalta inhibitoriski kasvaa biojätteen käytöstä syötteenä. 25 % biojätteen osuus seoksessa on kirjallisuuslähteiden mukaan sopiva seossuhde. Syöteseoksessa 1 on myös laskettu saatavilla olevan kalajätteen määrän mukaan seoksen metaanipotentiaali.

Syöteseokseen 1 kuuluu lannan ja kalan yhteiskäsittely, joka ei vaadi hygienisointia. Muodostuvan saatavilla olevan kalajätteen määrä on noin 230 t vuodessa, jolloin seokseen tarvittavan kalajätteen määrä on 170 t ja lietelannan 8 600 – 13 000 t vuodessa. Syöteseoksen suhde 1:3 ei näin ollen ylitä, jolloin voidaan hyödyntää kaikki saatavilla oleva kalajäte. Kalajätteen sisältämän metaanin arvoksi saadaan 15 000 m³. Lietelannan

sisältämä metaanimäärä on 75 000 ja 160 000 m³:n välillä vuodessa. Yhteensä seoksesta 1 muodostuu metaania vuodessa 75 000 – 170 000 m³. Tällöin metaanipotentialiaali ylittää laitoksen arvioituun nettotuottoon.

Syöteseoksessa 1 on melko vähän kalaa suhteessa lietteen määrään, joten siinä voidaan käyttää peltokasveja saatavuuden mukaan. Suuri lietemäärä tekee seoksesta vesipitoista, ja kasvibiomassoilla saataisiin nostettua orgaanisen aineksen pitoisuutta. Tällöin myös seoksen kaasuntuottopotentialiaali kasvaa. Energiakasvien ja karjanlannan sopiva seossuhde on kirjallisuuden mukaan 3:7 (Lehtomäki, Huttunen & Rintala 2007).

Mikäli syöteseoksessa 1 käytetään seossuhdetta 1:3, lietelantaa on $\frac{3}{4}$ ja kalajätettä $\frac{1}{4}$ seoksesta. Lietelannan osuus biokaasulaitoksen tarvitsemasta kokonaismäärästä on tällöin 7 100 – 11 000 t vuodessa ja kalajätteen 490 – 740 t. Seoksesta 1 muodostuu seossuhteella 1:3 metaania 100 000 – 190 000 m³ vuodessa, mikä on enemmän kuin saatavilla olevan kalajätteen määrään perustuvalla seoksella.

Syöteseos 2 sisältää lantaa ja 25 % hygienisoinnin vaativaa biojätettä, jonka tarvittava märkäpäino on tällöin vuodessa 420 – 620 t. Seuraavaan tarkasteluun on otettu huomioon vain sellaiset kohteet, jotka tuottavat eniten biojätettä (> 3 t/a). Kuvan 1 mukaan punainen alue on lähellä maatilaa ja sieltä muodostuu kolmesta kohteesta biojätettä yhteensä noin 21 000 kg vuodessa. Valkoisen alueen kohteet sijaitsevat lähellä maatilaa ja kohteista muodostuu biojätettä vuodessa noin 65 000 kg. Sininen alue on myös alle 50 kilometrin etäisyydellä maatilasta, ja sieltä muodostuvan biojätteen määrä on 49 000 kg. Yhteensä näiltä alueilta muodostuu 130 000 kg biojätettä vuodessa. Biojätteen tarvittava määrä syöteseoksessa 2 on vuodessa 420 000 – 620 000 kg, joten lähialueella tulisi olla enemmän biojätettä, jotta sitä olisi tarpeeksi biokaasulaitokselle. Oranssilta alueelta on etäisyyttä maatalaan nähden hieman yli 50 kilometriä, ja sieltä muodostuu biojätettä 62 000 kg vuodessa. Tällöin biojätteiden kokonaismäärä vuodessa on noin 200 000 kg, joka on 32 – 47 % tarvittavasta biojätteen vuotuisesta määrästä biokaasulaitoksella.

Syöteseoksessa 2 on $\frac{3}{4}$ lietelantaa, jonka osuus biokaasulaitoksen tarvitsemasta kokonaismäärästä on 7 100 – 11 000 t vuodessa. Tällöin saadaan materiaalin sisältämäksi metaanin minimiarvoksi 62 000 m³ ja maksimiarvoksi 120 000 m³. Biojätteen määrä syöteseoksessa 2 on 420 – 620 t vuodessa. Biojätteen metaanimäärä on tällöin 29 000 ja 44 000 m³:n välillä. Syöteseoksesta 2 muodostuu yhteensä metaania 91 000 – 170 000 m³ vuodessa. Maatilan arvioima vuosituotanto biokaasulaitokselle on 7 000 – 8 000 m³, joka ylittyy reilusti syöteseoksen 2 materiaaleilla.

Syöteseoksen 1 orgaanisen aineksen pitoisuudet ovat 5,8 ja 23:n välillä, eikä seos vaadi hygienisointia. Syöteseoksen 2 pitoisuudet vaihtelevat 5,8 ja 26:n välillä ja 25 % tästä seoksesta on biojätettä ja vaatii siten hygienisoinnin. Seoksen 1 VS-pitoisuus on 6,0 ja 6,1:n välillä ja seoksen 2 10,85. Molemmat seokset ovat melko vesipitoisia, joten niille soveltuu sen perusteella märkämädätystekniikka.

Taulukon 7 kalajätteen ja kohteen 11 lietteen käyttäminen syötteinä säilyttäisi maatilan luomutilana. Muut materiaalit ovat teollisuudesta peräisin, eli niiden käyttö vaatii jonkinlaista käsittelyä ennen biokaasuprosessiin syöttämistä. Taulukon 7 materiaaleista bio- ja ruokajäte ja lihaa sisältävät jätteet ruokateollisuudesta kuuluvat sivutuoteasetuksen kategoriaan 3, eli niiden käsittely biokaasulaitoksella vaatii hygienisoinnin 70 asteessa ennen prosessiin syöttämistä palakoon ollessa alle 12 mm (EUR-Lex 2009). Tämä lisää tekniikan kustannuksia ja estää myös lopputuotteen käyttämisen luomuviljelyyn suunnatuilla pelloilla. Maatilan kokoluokan takia ei ole kannattavaa tehdä kovin suuria investointeja, kuten jätteiden hygienisointia.

Kasvibiomassojen, järvikalojen ja lietelantojen käsittelyssä ei tarvita hygienisointia (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 48), mikä tekee niistä potentiaalisia syötteitä maatilan biokaasulaitokselle. Maatilan ulkopuoliset lannat ja kasvibiomassat tuovat tilan ravinnekiertoon uusia ravinteita, joiden tulisi olla käytettävissä tilan omilla pelloilla. Vaihtoehtoisesti raaka-aineiden tulisi olla luovutettavissa muiden tilojen käyttöön ulkopuolisia

materiaaleja käsiteltäessä. Tässä tapauksessa materiaalit voivat vaatia hygienisointia tai muuta käsittelymenetelmää ja tuovat lisäkustannuksia.

6.3 Kustannus

Kalmarin (2006) mukaan biojätteen vastaanottamisesta biokaasulaitoksessa voidaan periä käsittelymaksua, joka on 40 e/t. Biojätteestä perittävä porttimaksu on merkittävä tulolähde biokaasulaitokselle, ja siihen vaikuttaa vastaanotetun jätteen märkäpaino. Syöteseoksessa 2 tarvitaan vuodessa biojätettä 420 – 620 t. Tällöin biojätteestä saatava porttimaksu on 17 000 – 25 000 e/a.

Vertailuna jätekeskuksessa biojätteen käsittelymaksu on 79 e/t (alv 0%) (Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy 2016). Tällä käsittelymaksulla biojätteelle tulee hinnaksi 33 000 – 49 000 e/a, joka on lähes puolet enemmän kuin Kalmarin mukaan. Porttimaksu on sopimuskohtainen, ja sen on oltava kilpailukykyinen.

Luomuviljelytilojen tapauksessa syötteinä voidaan käyttää vain niitä materiaaleja (kala, liete ja kasvibiomassat), joita ei ole prosessoitu. Tällöin niitä voidaan käyttää lannoitteina luomuviljelytiloilla. Biojätteestä muodostunut mädäte ei lainsäädännöllisesti sovellu luomuviljelytilojen lannoitteeksi. Reaktorin syötteestä ja sen viipymästä riippuen mädätteen lopputuotteen sijoitusehdot voivat muuttua.

Mikäli biokaasulaitoksella vastaanotetaan muiden maatilojen lantoja tai kasvibiomassoja, tulee selvittää materiaalien kuljetukset ja mahdolliset maksut. Voidaan sopia, että lantaa tuodaan maatilalle maksua vastaan tai sitten biokaasulaitos maksaa esimerkiksi energiakasveista saatavasta energiasta. Maatila voi myös hakea materiaalit ilman maksua ja saa vastineeksi niiden käsittelystä materiaaleista saatavan energian.

7 YHTEENVETO

Suomessa on paljon potentiaalia lisätä maatilakohtaisten biokaasulaitosten määrää ja arvioiden mukaan Suomessa voitaisiin tuottaa pelkästään peltobiomassoista biokaasulla energiaa noin 1 - 6 TWh. Maatilamittakaavan biokaasulaitokset ovatkin yleistymässä Suomessa sivuvirroista saadun hyödyn takia biokaasun tuotannossa. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin biokaasun tuotantoa lähinnä syötteiden osalta, koska tarkoituksena oli selvittää maatilatulevan biokaasulaitoksen syötteitä lähialueella ja niiden soveltuvuutta.

Työn tarkoituksena oli tehdä taustaselvitys Mattilan maatilat biokaasulaitokselle syötteiden osalta. Biomassakartoitus antaa suuntaa biokaasulaitoksen tekniikkaan ja kannattavuuteen. Tarkoituksena oli kartoittaa potentiaalisten lähialueen saatavilla olevat orgaaniset sivuainevirrat. Kartoitettujen yritysten materiaaleja verrattiin Mattilan maatilat olosuhteisiin ja kirjallisuuteen, minkä perusteella tehtiin johtopäätöksiä syötteiden soveltuvuudesta Mattilan maatilat biokaasulaitokselle. Selvitystyö suoritettiin lähialueen yritysten kartoittamisella sekä haastatteluilla. Haastattelun tulokset taulukoitiin ja niitä verrattiin kirjallisuuteen. Erillisiä laboratoriokokeita syötteistä ei tehty, joten saadut tulokset ovat suuntaa antavia ja pohjautuvat käytettyihin kirjallisuuslähteisiin.

Työssä on analysoitu saatavilla olevien materiaalien ominaisuuksia, joista tärkeimmät ovat metaanintuottopotentiaali ja kuiva-ainepitoisuus. Tulosten tarkastelu on suoritettu pääosin kahden syöteseoksen näkökulmasta. Syöteseoksessa 1 on kalajätettä ja lietelantaa ja seokseen 2 sisältyy biojätettä ja lietelantaa. Saatavilla oleva biojätteen määrä ei kuitenkaan riitä biokaasulaitoksen vaatimaan määrään, joten seos 2 tarvitsee jonkin kolmannen raaka-aineen tai lisäksi jonkin isomman biojätettä tuottavan lähteen. Seos 1 on muodostettu saatavilla olevan kalajätteen määrään mukaan, ja seoksessa 2 on käytetty kirjallisuudesta saatua seossuhdetta 1:3. Seosta 1 on myös tarkasteltu seossuhteella 1:3, sillä muodostuva kalajätteen kokonaismäärä on pieni verrattuna lietteen määrään.

muodostuvassa seoksessa. Toisaalta seokseen voidaan lisätä kasvibiomassoja niiden saatavuuden mukaan, jolloin seoksen orgaanisen aineksen pitoisuus kasvaa ja siten myös kaasuntuottopotentiaali. Seosta 1 tarkasteltaessa seossuhteella 1:3 huomattiin metaanimäärän olevan suurempi kuin saatavilla olevan kalajätteen määrän mukaisella seoksella. Orgaanisen aineksen pitoisuus vaikuttaa olennaisesti kaasuntuottoon.

Korkein saatu metaanimäärä saavutettiin seoksella 1, kun seossuhde on 1:3, eli kun kalajätettä on $\frac{1}{4}$ seoksesta. Alhaisin metaanimäärä muodostuu seoksesta 1, kun kalajätteen määrä on alhaisempi. Kaikilla seossuhteilla saatu metaanimäärä kuitenkin ylittää reilusti biokaasulaitoksen arvioiman vuosituotannon. Lietelannan orgaanisen aineksen pitoisuus on vain 5,8, mikä vaikuttaa seoksen metaanimäärään. Materiaaleista, joilla on korkea orgaanisen aineksen pitoisuus, saadaan siis paras metaanin tuotto.

Maatilamittakaavan biokaasulaitoksella soveltuvimmat syötteet ovat sellaisia, jotka eivät ole teollisuudesta peräisin. Saatavilla olevista materiaaleista käsittelemättömiä jätteitä on lietelanta, kalajäte ja kasvibiomassat. Käsittelemättömiä jätteitä ei tarvitse hygienisoida, mikä on pienen mittakaavan maatilalle kannattavaa. Erillisestä hygienisoinnista tulee paljon lisäkustannuksia maatilalle ja siksi se vaihtoehto olisi hyvä karsia pois.

Prosessoimattomat materiaalit (liete, kala ja kasvibiomassat) soveltuvat parhaiten syötteiksi myös siksi, koska niitä voidaan käyttää lannoitteina luomuviljelytiloilla. Lainsäädännöllisesti biojätteestä muodostunut mädäte ei sovellu luomuviljelytilojen lannoitteeksi, mikä rajaa lannoitteen hyötykäyttöä. Lopputuotteen sijoitusehdot voivat kuitenkin muuttua, mihin vaikuttavat reaktorin syötteet ja sen viipymä.

Materiaalien valintaan vaikuttavat myös kuljetusetäisyydet, jotka olisi hyvä saada mahdollisimman alhaisiksi. Paras ratkaisu maatilamittakaavan biokaasulaitokselle olisi, jos materiaaleja olisi saatavilla lähellä ja niitä saataisiin samalla useasta paikasta, mikäli ei ole yhtä suurta ravinnelähdettä. Lisäksi myös materiaalien tuotannon tasaisuus vaikuttaa

niiden soveltuvuuteen biokaasun tuotantoon, sillä reaktori vaatii yleensä materiaaleja tasaisin väliajoin. Tästä syystä tasaisesti ympäri vuoden tuottavia lähteitä olisi kannattavaa hyödyntää.

Tässä työssä käsiteltiin syoteseoksessa 2 biojätteen soveltuvuutta biokaasulaitokselle, sillä biojätteen käsittelystä tai vastaanottamisesta voidaan periä porttimaksua. Porttimaksusta tulee lisätuloja maatilalle, ja siksi se saattaa olla harkitsemisen aiheinen vaihtoehto. Biojäte kuuluu sivutuoteasetuksen kategoriaan 3, eli sen käsittely biokaasulaitoksella vaatii erillisen hygienisoinnin. Biojätteen lisäksi puhdistamoliete vaatii myös hygienisoinnin. Lisäksi puhdistamoliete ei ole yleisesti käytetty syöte maatilamittakaavan biokaasulaitoksissa. Puhdistamolietteen käyttö on myös kallista, koska sen vesipitoisuus on korkea ja tällöin orgaanisen aineksen osuus pieni, mikä on olennaista tuotannon kannalta.

Opinnäytetyön tulokset ovat suuntaa antavia, eikä työssä suoritettu spesifisiä metaanintuottokokeita tai vastaavia. Tästä syystä tulosten vaihteluvälit ovat suuria. Toisaalta käytetyt kirjallisuuslähteet ovat luotettavia, joten saadut tulokset soveltuvat hyvin syötteiden soveltuvuuden ja potentiaalin arvioimiseen. Työn tarkoituksena olikin selvittää, mitä materiaaleja ja kuinka paljon niitä olisi saatavilla maatalan lähialueella. Työn tuloksia voidaan käyttää myös muissa tapauksissa arviona ja taustatyönä, kun kyseessä on maatilamittakaavan biokaasulaitoksen biomateriaalien soveltuvuuteen liittyvä kartoitus tai muu vastaava selvitystyö.

Työstä voidaan tehdä monia jatkotutkimuksia, kuten tulevan biokaasulaitoksen teknisistä menetelmistä hyödyntämällä tätä selvitystyötä. Jatkotutkimuksena voidaan myös esimerkiksi pohtia biokaasun hyötykäyttöä. Tässä työssä aiheen rajaaminen syötteiden tarkasteluun mahdollistaa monipuoliset jatkotutkimukset.

LÄHTEET

AMK 2016. Kemiaalliset reaktiot [viitattu 19.11.2016]. Saatavissa:
http://www2.amk.fi/mater/luonnonvara/Bioenergia/mita_biokaasu_on/kemiaalliset3.swf

Biokaasufoorumi 2016. Biokaasun raaka-aineet [viitattu 17.10. 2016].
Saatavissa: <http://www.biokaasufoorumi.fi/index.asp?init=1&initID=17271>

Biokaasulaskuri 2014. Syötteet [viitattu 27.11.2016]. Saatavissa:
https://portal.mtt.fi/images/sovellukset/biokaasu/biokaasulaskuri_ohjekirja.pdf

Biokaasuyhdistys 2016. Biokaasu ja maatilat [viitattu 24.11.2016].
Saatavissa: <http://www.biokaasuyhdistys.net/tietoa-biokaasusta/biokaasu-ja-maatilat/>

Bioste 2014. Biokaasu [viitattu 28.10.2016]. Saatavissa:
<http://bioste.fi/bioenergia/biokaasu/>

Dahlquist, E. 2013. Technologies for Converting Biomass to Useful Energy. Alankomaat: CRC Press/Balkema.

EUR-Lex 2009. Regulation (EC) No 1069/2009 of the European parliament and of the council [viitattu 25.11.2016]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32009R1069>

European Commission 2015. Muistio uusiutuvan energian ja ilmastonmuutoksen lakipaketista [viitattu 20.10.2016]. Saatavissa:
http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-08-33_fi.htm

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2016. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 19. Suomen Biokaasuyhdistys ry [viitattu 2.11.2016]. Saatavissa:
<http://www.biokaasuyhdistys.net/wp/wp-content/uploads/2016/04/Biokaasulaitosrekisteri2015.pdf>

Kalmari, J. 2006. Maatilakohtaisen biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus suomalaisella sikatilalla. Helsingin yliopisto [viitattu 30.11.2016]. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/taloustiede/Abs/Selv42.pdf>

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia. Suomen Biokaasuyhdistys ry [viitattu 17.10.2016]. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/104180>

Lannoitevalmistelaki 539/2006. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060539>

Lehtomäki, A., Huttunen, S. & Rintala, J. 2007. Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio. *Resour Conserv Recycl.* 51: 591 - 609.

Luostarinen, S. 2009. Biokaasun tuotantoprosessi ja –teknologiat. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT [viitattu 26.11.2016]. Saatavissa: file:///C:/Users/Kojo/Downloads/Sari%20Luostarinen_MTT_KoneAgria2009%2022.10.2009.pdf

Luostarinen, S. 2011. Prosessoimalla lannasta ja muusta eloperäisestä materiaalista biokaasua ja ravinnetuotteita markkinoille. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT [viitattu 24.10.2016]. Saatavissa: <http://docplayer.fi/4228543-Prosessoimalla-lannasta-ja-muusta-eloperaisesta-materiaalista-biokaasua-ja-ravinnetuotteita-markkinoille-sari-luostarinen.html>

Luostarinen, S. 2013. Biokaasuteknologiaa maatiloilla. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT [viitattu 17.10.2016]. Saatavissa: <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481263/mttraportti113.pdf?sequence=1>

Luostarinen, S., Normak, A. & Edström, M. 2011. Overview of biogas technology. Baltic MANURE [viitattu 19.11.2016]. Saatavissa: http://www.balticmanure.eu/download/Reports/baltic_manure_biogas_final_total.pdf

Luste, S. 2011. Anaerobic digestion of organic by-products from meat-processing industry. Kuopio: Kopijyvä.

Luste, S., Soininen, H. & Seppäläinen, S. 2013. ESBIO-hankkeen loppujulkaisu, Energiaomavarainen maatila. Helsingin yliopiston julkaisusarja. Etelä-savossa saatavilla olevien orgaanisten materiaalien soveltuvuus biokaasulaitoksen raaka-aineeksi – metaanintuottopotentialit, yhteismädätys ja hygienia, ISSN 1796-0649

Motiva 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla [viitattu 10.11.2016].

Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

Motiva 2014. Biokaasun hyödyntäminen [viitattu 17.10.2016]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pe_lloilta/biokaasu/biokaasun_hyodyntaminen

Motiva 2015a. Biokaasu [viitattu 20.11.2016]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pe_lloilta/biokaasu

Motiva 2015b. Investointituet uusiutuvalle energialle [viitattu 20.11.2016].

Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/investointituet_uusiutuvalle_energialle

Motiva 2015c. Maatalouden investointituet [viitattu 20.11.2016].

Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/maatalouden_investointituet

Motiva 2016. Uusiutuva energia Suomessa [viitattu 20.11.2016].

Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa

Murto, M., Björnsson, L. & Mattiasson, B. 2004. Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure. J Environ Manage. 70: 101 - 107.

Paavola, T., Syväsalu, E. & Rintala, J. 2006. Co-digestion of manure and biowaste according to the EC Animal By-products Regulation and Finnish national regulations. Wat Sci Tech. 53: 223 - 231.

Petra-jätevertailu 2016. Jätteen määrän laskenta ja arviointi yrityksessä [viitattu 24.11.2016]. Saatavissa:
http://www.petrajatevertailu.fi/phj/jatteen_maara_ja_laskenta.pdf

ProAgria 2013. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa [viitattu 27.11.2016]. Saatavissa:
https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_201320032014s.pdf

Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy 2016. Hinnasto [viitattu 30.11.2016].
 Saatavissa: <http://www.phj.fi/asukkaat/hinnasto>

Rosenwinkel, K. & Meyer, H. 1999. Anaerobic treatment of slaughterhouse residues in municipal digesters. Wat Sci Tech. 40: 101 - 111.

Suomen Kaasuyhdistys & Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES 2016. Suunnitteluohje maa- ja biokaasun tankkausasemille [viitattu 25.11.2016].
 Saatavissa:
http://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=32d0421c-be92-4da8-a04a-c6392007bacc&groupId=64186

Taavitsainen, T. 2006. Laitosvaihtoehdot. Savonia ammattikorkeakoulu [viitattu 15.11.2016]. Saatavissa:
http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistot_ekniikka/Malla2Loppuraportti%281%29.pdf

Åkerlund, F. 2016. Biokaasulaitosten tukijärjestelmät Suomessa. Motiva [viitattu 22.11.2016]. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/files/5160/Biokaasun_tukiratkaisut.pdf

LIITTEET

LIITE 1. Materiaalien kartoituksen tulokset

Kilide	Tuotanto on ois	Muodostavien biologisten hajotusmateriaalien	Tuotannon testaus	Määrä kg/a	Kuiva-ainepitoisuus TS	Määrämittaus mg/a	Näytteenä välttely	Alustava luokitutus
1	Elintarvikke	Eläin		noin 7 100	28	510		Envä
2	Elintarvikke	Eläin		noin 2 000	28	15-140	Kastopaine	Tuot. joi joi hakee
3	Elintarvikke	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 4 000	3,2-28	320-400	RTK	Tuot. joi joi hakee
4	Käyttö, kastotus	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Käyttö ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 4 000	3,2-28	320-400	RTK	Tuot. joi joi hakee
5	Käyttö	Ruokajäte	Käyttö	noin 400	28	34		Tuot. joi joi hakee
6	Käyttö	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 300	28-31	23-38	Kompostointi	Envä
7	Prosessi	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Käyttö ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 400	3,2-28	34-32	Kompostointi	Envä
8	Käyttö	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Tuot. joi joi hakee	noin 700	28	28	Käyttö ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Envä
9	Käyttö	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 210	28	34	RTK	Envä
10	Väri	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 500	28	600	RTK	Huolto ja jätteen
11	Materiaali	Envä	Tuot. joi joi hakee	300 000 - 400 000	7	2 600-4 800	-	
12	Käyttö, kastotus	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 500	28-31		Envä	Envä
13	Elintarvikke	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 500	3,2-28	4,4-14	Envä	Envä
14	Käyttö	Ruokajäte	Käyttö ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 900	28	87	Käyttö ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Envä
15	Elintarvikke	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 20 000	3,2-28	130-1 100	Käyttö ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Envä
16	Käyttö	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Tuot. joi joi hakee	noin 29 000	3,2-28	130-1 100	Envä	Envä
17	Päivä	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Tuot. joi joi hakee	noin 1 000	28	110	Envä	Envä
18	Päivä	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 1 100	28	27	Envä	Envä
19	Käyttö	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 3 000	28	270	Envä	Envä
20	Elintarvikke	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Tuot. joi joi hakee	noin 17 000	3,2-28	130-1 100	Envä	Envä
21	Elintarvikke	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 10 000	28	310	Envä	Envä
22	Käyttö	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 2 400	28	170	Envä	Envä
23	Käyttö	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 7 100	3,2-28	55-510	Envä	Envä
24	Päivä	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 1 100	28	110	Envä	Envä
25	Käyttö, kastotus	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 27 000	3,2-28	210-1 800	Envä	Envä
26	Käyttö	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 1 000	3,2-28	14-130	Envä	Envä
27	Käyttö	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 5 100	28	170	Envä	Envä
28	Käyttö	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 3 100	28-40	220-400	Envä	Envä
29	Käyttö	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Tuot. joi joi hakee	noin 14 000	28-31	90-3 400	Envä	Envä
30	Elintarvikke	Envä, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 1 800 000	28-40	1 110-1 800	Envä	Envä
31	Elintarvikke	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 12 000	3,2-28	88-220	Envä	Envä
32	Käyttö	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 5 500	28	180	Envä	Envä
33	Päivä	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 1 000	28	110	Envä	Envä
34	Päivä	Ruokajäte, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 370	28	28	Envä	Envä
35	Päivä	Ruokajäte	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen		28		Envä	Envä
36	Päivä	Päivä	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	800 000	20-23	5 100-11 000	Envä	Envä
37	Päivä	Päivä	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 320 000	29	1 700-3 800	Envä	Envä
38	Päivä	Päivä	Tuot. joi joi hakee	noin 180 000	27	1 200-2 300	Envä	Envä
39	Käyttö	Käyttö	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 600	28	21	Envä	Envä
40	Käyttö	Käyttö	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	2 000 - 5 000	28	280	Envä	Envä
41	Päivä	Päivä	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	300 000 - 500 000	25	2 100-3 300	Envä	Envä
42	Käyttö	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 10 000	3,2-28	78-790	Envä	Envä
43	Käyttö	Käyttö	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	noin 75 000	28	6 000	Envä	Envä
44	Käyttö	Käyttö	Vihreä ja kuoppajaiset, jätteen, jätteen	100 000 - 200 000	26	11 000	Envä	Envä